



TUGAS AKHIR - TM141585

***Analisa Impact pada Variasi Profil Bumper
Reinforcement Beam Komposit Epoxy HGM
Menggunakan Software Finite Element***

MOCHAMMAD AFFANDI
NRP 2111 100 001

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015



TUGAS AKHIR - TM141585

Impact Analysis of Variation Profile in Bumper Reinforcement Beam Composite Epoxy HGM with Software Finte Element

MOCHAMMAD AFFANDI
NRP 2111 100 001

Advisor
Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015

**ANALISA IMPACT PADA VARIASI PROFIL
BUMPER *REINFORCEMENT BEAM* MATERIAL
*EPOXY HGM MENGGUNAKAN SOFTWARE
FINITE ELEMENT***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Mochammad Affandi
Nrp. 2111 100 001

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- 
1. Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA. (Pembimbing)
(NIP. 195012111985021001)
 2. Dr. Eng. Sutikno, ST., MT. (Penguji 1)
(NIP. 197407032000031001)
 3. Indra Sidharta, ST., M.Sc. (Penguji 2)
(NIP. 198006192006041004)
 4. Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc. (Penguji 3)
(NIP. 196103141987011001)

SURABAYA
Juli 2015

ANALISA *IMPACT* PADA VARIASI PROFIL BUMPER *REINFORCEMENT BEAM* KOMPOSIT *EPOXY HGM* MENGUNAKAN *SOFTWARE FINITE ELEMENT*

Nama Mahasiswa : Mochammad Affandi
NRP : 2111100001
Jurusan : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Prof. Dr.Ir. Wajan Berata, DEA

Abstrak

Bumper merupakan bagian pengaman dari kendaraan yang memiliki berat cukup besar. Alternatif desain dan material yang ringan dicari untuk mendapatkan efisiensi pada suatu kendaraan. Berdasarkan permasalahan tersebut dilakukan sebuah penelitian untuk mengetahui kemampuan bumper akibat impact pada variasi profil yang berbeda, yaitu B profil, C profil dan O profil dengan geometri yang disesuaikan pada mobil MPV yang ada di Indonesia.

Pada penelitian ini dilakukan analisa impact pada variasi profil bumper reinforcement beam menggunakan material komposit epoxy dengan komposisi partikel sebesar 16% HGM. Bumper dengan beberapa variasi ketebalan dikenai low-speed impact test sesuai standar pengujian ECE Regulation no 42. Penelitian ini berbasis simulasi menggunakan software finite element

Hasil dari penelitian ini didapatkan nilai deformasi terkecil hingga terbesar berturut-turut dimiliki B1, B2, O dan C profil. Berdasarkan nilai tegangan yang diperoleh pada ketebalan 4 mm, 6 mm dan 8 mm, O profil ketebalan 6 mm dan C, O, B1 profil ketebalan 8 mm aman untuk digunakan. Kemampuan menyerap energi setiap profil memiliki prosentase nilai diatas 98 %. Berdasarkan tegangan maksimum material yaitu sebesar 121,29 Mpa, B1 profil dengan ketebalan 7mm dan 8 mm aman digunakan dengan nilai tegangan sebesar 109,08 MPa dan 100,11 Mpa. Bumper tersebut mengalami deformasi sebesar

16,505 mm dan 16,047 mm dan mampu menyerap energi sebesar 99,94 % dan 99,40 %.

Kata kunci : Profil bumper, komposit epoxy HGM, impact

IMPACT ANALYSIS OF VARIATION PROFILE IN BUMPER REINFORCEMENT BEAM COMPOSITE EPOXY HGM WITH SOFTWARE FINITE ELEMENT

Student Name : Mochammad Affandi
NRP : 2111100001
Departement : Teknik Mesin
Advisor : Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA

Abstract

Bumper is part of the vehicle that has a quite large weight. Alternative design and lightweight material of bumper is sought to generate considerable efficiency in a vehicle. Therefore, this research aims to determine the ability of variation bumper profile which is effected of impact, ie B, C and O profile with customized geometry on MPV car in Indonesia.

In this research, impact analysis of variation profile in bumper reinforcement beam using epoxy composite material with a composition of particle 16% HGM has been analysed. Bumper with thickness variation is given to a low-speed impact testing refers to standard ECE Regulation No. 42. This research also based on simulation using finite element software

Results of this research found the smallest to the largest deformation values is B1, B2, O and C for each profile. Based on stress values obtained on the thickness of 4 mm, 6mm and 8 mm, then known that O profile with 6 mm thickness and C, O, B1 profile with 8 mm thickness is safe to use. The ability to absorb the energy in each profile is more than 98%. When the maximum stress material is equal to 121.29 MPa, B1 profile of 7 mm and 8 mm thickness is safe to use with a stress value at 109.08 MPa and 100.11 MPa. The bumper deformation at 16.505 mm and 16.047 mm and able to absorb energy at 99.94% and 99.40%.

Keywords: Bumper profile, composites epoxy HGM, impact

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penyusunan laporan tugas akhir yang berjudul **“ANALISA IMPACT PADA VARIASI PROFIL BUMPER REINFORCEMENT BEAM KOMPOSIT EPOXY HGM MENGGUNAKAN SOFTWARE FINITE ELEMENT”** ini dapat diselesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Banyak pihak yang telah membantu sampai selesainya tugas akhir ini. Oleh karena itu pada kesempatan ini disampaikan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis Bapak dan Ibu serta kakak untuk segala doa, restu, pengorbanan, dan motivasi yang tidak pernah bosan dan habis kepada penulis.
2. **Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA.** selaku dosen pembimbing tugas akhir ini. Terima kasih untuk semua waktu, kritik, saran, dan motivasi yang diberikan ditengah – tengah kesibukan bapak, tanpa itu semua sampai sekarang penulis tidak akan dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. **Dr. Eng. Sutikno, ST., MT. , Indra Sidharta, ST., M.Sc.** dan **Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc.** selaku dosen penguji tugas akhir. Terimakasih atas nasehat-nasehatnya.
4. Teman, kawan, partner dan sodara selama menyelesaikan tugas akhir ini, **Sabillah Muchammad.** Terimakasih kawan sudah menemani penulis menyusun tugas akhir
5. **Mas Dany** dan **Syifaul** yang telah bersedia untuk memberikan pelayanan dan peminjaman komputer Laboratorium CAE.

6. **Mbak Hindun, Mbak Zahra, Mas Galang** yang telah menemani dan membantu disaat ada suatu masalah atau kebingungan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. **Vicky, Daris, Firdaus, Bayu, Rizaldy, Khosmin, Mbak Puput** yang telah bersedia direpoti untuk mentransfer ilmu dan memberikan saran-saran atas tugas akhir ini.
8. **Dinaryuda dan Fajar Simen** selaku teman kos yang telah memberikan semangat, motivasi, cerita dan pinjaman kamar untuk bisa menyelesaikan tugas akhir dan lulus bersama.
9. Teman-teman beasiswa **Mien R. Uno Fondation** yang telah memberikan support penuh untuk bisa menjalankan dan menimba ilmu berbisnis disertai penyelesaian tugas akhir ini.
10. Teman-teman **Kabinet BMK BEM FTI-ITS 2013/2014** yang telah mengingatkan untuk selalu beribadah dan senantiasa mendekatkan diri kepada Allah ditengah kesibukan penyelesaian tugas akhir ini.
11. Seluruh keluarga besar **M54, Lab Metalurgi** dan teman-teman di mesin atas kebahagiaan dan dukungannya.
12. Bapak dan Ibu dosen serta seluruh karyawan Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS yang telah banyak membantu selama perkuliahan.
13. Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih atas bantuan, saran, doa, dan semangatnya.

Penulis sadar bahwa penulisan tugas akhir ini memiliki banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan dan kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penulis dan pembaca. Terima kasih.

Surabaya, 1 Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL (Versi Bahasa Indonesia)	
HALAMAN JUDUL (Versi Bahasa Inggris)	
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Bumper	13
2.3 Komposit	16
2.3.1 Matriks	17
2.3.2 Polimer	18
2.3.2.1 <i>Epoxy</i>	19
2.3.3 Penguat (<i>Reinforcement</i>)	20
2.3.3.1 Hollow Glass Microspheres	21
2.4 Standard Pengujian Bumper ECE R.42.....	22
2.5 Finite Element Method.....	24
2.6 Defleksi / Lenturan.....	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	29
3.2 Diagram Alir Simulasi Pengujian.....	37
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data Hasil Simulasi	43

4.2 Analisa Data dan Pembahasan.....	47
4.2.1 Berat Antar Profil	47
4.2.2 Deformasi Antar Profil	49
4.2.2.1 Bumper Ketebalan 4 mm	50
4.2.2.2 Bumper Ketebalan 6 mm	53
4.2.2.3 Bumper Ketebalan 8 mm	56
4.2.2.4 Perbandingan deformasi antar profil	59
4.2.3 Tegangan Von Mises.....	61
4.2.3.1 Bumper Ketebalan 4 mm	61
4.2.3.2 Bumper Ketebalan 6 mm	64
4.2.3.3 Bumper Ketebalan 8 mm	66
4.2.3.4 Tegangan Von Mises Antar Profil.....	68
4.2.4 Energi Kinetik dan Energi Internal.....	69
4.2.4.1 Energi Kinetik Pendulum	70
4.2.4.2 Energi Internal Bumper	73
4.2.4.3 Energi Kinetik Bumper	76
4.2.4.4 Penyerapan Energi	76
4.3 Pengaruh Ketebalan.....	78
4.3.1 Berat B1 profil.....	78
4.3.2 Deformasi B1 profil	79
4.3.3 Tegangan Von Mises B1 Profil.....	80
4.3.4 Penyerapan Energi B1 Profil.....	81
4.4 Pengaruh Jarak Tumpuan	82
4.4.1 Deformasi B1 Profil Pengaruh Perbedaan Tumpuan	83
4.4.2 Tegangan Von Mises B1 Profil Pengaruh Perbedaan Tumpuan	84
4.4.3 Penyerapan Energi B1 Profil Pengaruh Perbedaan Tumpuan	85
4.5 Perbandingan Bumper <i>Steel</i> saat ini dengan B1 Profil Komposit <i>Epoxy</i> HGM.....	86
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	89
5.2 Saran.....	90
DAFTAR PUSTAKA.....	91
BIODATA PENULIS.....	93

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Properti polimer termoset	19
Tabel 2.2 Spesifikasi HGM iM30K.....	22
Tabel 3.1 Properti Material.....	32
Tabel 4.1 Spesifikasi bumper untuk material komposit epoxy HGM.....	44
Tabel 4.2 Nilai deformasi total bumper.....	45
Tabel 4.3 Nilai tegangan von mises bumper	45
Tabel 4.4 Nilai absorpsi energi bumper.....	46
Tabel 4.5 Tabel O profil ketebalan 3 mm material steel.....	46
Tabel 4.6 Tabel energi O profil ketebalan 3 mm material steel	46
Tabel 4.7 Tabel B1 profil masing-masing ketebalan	46
Tabel 4.8 Tabel energi B1 profil masing-masing ketebalan	47
Tabel 4.9 Tabel B1 profil pada lokasi tumpuan berbeda	47
Tabel 4.10 Tabel energi B1 profil pada lokasi tumpuan berbeda.....	47

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Bumper <i>reinforcement beam</i> salah satu mobil di Indonesia	2
Gambar 2.1 Layout desain bumper dan pendulum pada <i>software finite element</i>	7
Gambar 2.2 Hasil simulasi nilai tegangan von mises pada bumper 8 mm	8
Gambar 2.3 Grafik perbandingan tegangan ekuivalen dengan variasi ketebalan	8
Gambar 2.4 Grafik perbandingan tegangan ekuivalen aluminium dan komposit	9
Gambar 2.5 Grafik hasil uji tekan	10
Gambar 2.6 Matrix Pemilihan Konsep.....	11
Gambar 2.7 Sketsa profil bumper <i>reinforcement beam</i>	12
Gambar 2.8 Grafik perbandingan variasi <i>tepper α beam</i>	12
Gambar 2.9 Hasil profil model bumper <i>reinforcement beam</i> ..	13
Gambar 2.10 Jenis sistem bumper.....	14
Gambar 2.11 Fascia bumper.....	15
Gambar 2.12 Bumper <i>reinforcement beam</i>	16
Gambar 2.13 Struktur polimer, (a) <i>linear</i> , (b) <i>branched</i> , (c) <i>cross-linked</i> , (d) <i>network</i>	18
Gambar 2.14 Kelebihan dan kekurangan polimer poliester, vinilester dan <i>epoxy</i>	20
Gambar 2.15 Klasifikasi komposit berdasarkan penguat	21
Gambar 2.16 Pendulum untuk <i>longitudinal test</i>	23
Gambar 2.17 Ilustrasi pengujian bumper depan terhadap tabrakan dari depan	24
Gambar 2.18 <i>Free body</i> diagram balok akibat beban merata..	25
Gambar 3.1 Skema diagram alir penelitian penelitian	29
Gambar 3.2 Tampak depan salah satu mobil MPV di Indonesia	30
Gambar 3.3 Tampak depan bumper <i>reinforcement beam</i>	30
Gambar 3.4 Tampak belakang bumper <i>reinforcement beam</i> ..	30
Gambar 3.5 <i>Support</i> bumper <i>reinforcement beam</i>	35

Gambar 3.6 Tampak depan <i>support bumper reinforcement beam</i>	35
Gambar 3.7 Pendulum untuk <i>longitudinal test</i>	33
Gambar 3.8 Bumber <i>reinforcement beam</i> B1 profil.....	33
Gambar 3.9 Bumber <i>reinforcement beam</i> B2 profil.....	34
Gambar 3.10 Bumber <i>reinforcement beam</i> C profil.....	34
Gambar 3.11 Bumber <i>reinforcement beam</i> O profil	34
Gambar 3.12 Lokasi <i>support</i>	35
Gambar 3.13 <i>Assembly</i> Pendulum dan Bumber <i>beam</i>	36
Gambar 3.14 Skema diagram alir simulasi.....	37
Gambar 3.15 Detail pemilihan material	38
Gambar 3.16 Detail pemilihan <i>meshing</i>	39
Gambar 3.17 <i>Meshing</i> antara pendulum dan bumper beam....	39
Gambar 3.18 Pemberian <i>fixed support</i> pada bumper <i>beam</i>	40
Gambar 3.19 Arah dari kecepatan pada pendulum	41
Gambar 4.1 Profil bumper <i>reinforcement beam</i>	43
Gambar 4.2 Berat profil bumper ketebalan 4 mm	48
Gambar 4.3 Berat profil bumper ketebalan 6 mm	48
Gambar 4.4 Berat profil bumper ketebalan 8 mm	49
Gambar 4.5 Hasil deformasi C profil ketebalan 4 mm.....	50
Gambar 4.6 Hasil deformasi O profil ketebalan 4 mm	50
Gambar 4.7 Hasil deformasi B1 profil ketebalan 4 mm.....	51
Gambar 4.8 Hasil deformasi B2 profil ketebalan 4 mm.....	51
Gambar 4.9 Hasil deformasi C profil ketebalan 6 mm.....	53
Gambar 4.10 Hasil deformasi O profil ketebalan 6 mm.....	53
Gambar 4.11 Hasil deformasi B1 profil ketebalan 6 mm.....	54
Gambar 4.12 Hasil deformasi B2 profil ketebalan 6 mm.....	54
Gambar 4.13 Hasil deformasi C profil ketebalan 8 mm.....	56
Gambar 4.14 Hasil deformasi O profil ketebalan 8 mm.....	56
Gambar 4.15 Hasil deformasi B1 profil ketebalan 8 mm.....	57
Gambar 4.16 Hasil deformasi B2 profil ketebalan 8 mm.....	57
Gambar 4.17 Grafik deformasi bumper ketebalan 4 mm	59
Gambar 4.18 Grafik deformasi bumper ketebalan 6 mm	59
Gambar 4.19 Grafik deformasi bumper ketebalan 8 mm	60
Gambar 4.20 Hasil Tegangan C profil ketebalan 4 mm	61

Gambar 4.21 Hasil Tegangan O profil ketebalan 4 mm	62
Gambar 4.22 Hasil Tegangan B1 profil ketebalan 4 mm	62
Gambar 4.23 Hasil Tegangan B2 profil ketebalan 4 mm	62
Gambar 4.24 Hasil Tegangan C profil ketebalan 6 mm	64
Gambar 4.25 Hasil Tegangan O profil ketebalan 6 mm	64
Gambar 4.26 Hasil Tegangan B1 profil ketebalan 6 mm	64
Gambar 4.27 Hasil Tegangan B2 profil ketebalan 6 mm	65
Gambar 4.28 Hasil Tegangan C profil ketebalan 6 mm	66
Gambar 4.29 Hasil Tegangan O profil ketebalan 6 mm	66
Gambar 4.30 Hasil Tegangan B1 profil ketebalan 6 mm	66
Gambar 4.31 Hasil Tegangan B2 profil ketebalan 6 mm	67
Gambar 4.32 Grafik tegangan antar profil ketebalan 4 mm	68
Gambar 4.33 Grafik tegangan antar profil ketebalan 6 mm	68
Gambar 4.34 Grafik tegangan antar profil ketebalan 8 mm	68
Gambar 4.35 Grafik energi kinetik pendulum ketebalan 4 mm	70
Gambar 4.36 Grafik energi kinetik pendulum ketebalan 6 mm	70
Gambar 4.37 Grafik energi kinetik pendulum ketebalan 8 mm	71
Gambar 4.38 Besar energi yang diberikan pendulum di masing-masing profil dan ketebalan.....	72
Gambar 4.39 Grafik energi internal bumper ketebalan 4 mm.	73
Gambar 4.40 Grafik energi internal bumper ketebalan 6 mm.	73
Gambar 4.41 Grafik energi internal bumper ketebalan 8 mm.	74
Gambar 4.42 Besar energi internal bumper di masing-masing profil dan ketebalan.....	75
Gambar 4.43 Besar energi kinetik bumper di masing-masing profil dan ketebalan.....	76
Gambar 4.44 Besar penyerapan energidi masing-masing profil dan ketebalan.....	77
Gambar 4.45 Berat B1 profil masing-masing ketebalan	78
Gambar 4.46 Deformasi B1 profil masing-masing ketebalan .	79
Gambar 4.47 Tegangan B1 profil masing-masing ketebalan...	80

Gambar 4.48 Penyerapan energi B1 profil masing-masing ketebalan	81
Gambar 4.49 Trendline penyerapan energi B1 profil masing-masing ketebalan	82
Gambar 4.50 Pengaruh jarak tumpuan terhadap deformasi B1 profil ketebalan 7 mm dan 8 mm.....	83
Gambar 4.51 Pengaruh jarak tumpuan terhadap tegangan von mises B1 profil ketebalan 7 mm dan 8 mm.....	84
Gambar 4.52 Pengaruh jarak tumpuan terhadap penyerapan energy B1 profil ketebalan 7 mm dan 8 mm.....	85
Gambar 4.53 Grafik perbandingan deformasi bumper material komposit dengan steel.....	86
Gambar 4.54 Grafik perbandingan tegangan bumper material komposit dengan steel.....	87

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan kendaraan berpenumpang pada saat ini penting bagi kehidupan sehari-hari. Mobil merupakan salah satu kendaraan berpenumpang yang banyak digunakan oleh masyarakat. Seiring dengan bertambahnya pemakaian mobil, pemakaian asuransi untuk mengantisipasi pengeluaran biaya akibat tabrakan juga semakin meningkat. Pada tahun 2002, salah satu perusahaan asuransi di Inggris melakukan penelitian bahwa total biaya asuransi untuk kendaraan bermotor khususnya mobil rata-rata sebesar 100 miliar US dollar. Sekitar 70% dari biaya tersebut berkaitan dengan kerusakan akibat tabrakan kecepatan rendah. Biaya yang dikeluarkan akibat kerusakan kecepatan rendah rata-rata sebesar 2000 US dollar untuk setiap insidennya. Apabila kerusakan yang dialami kendaraan dapat diminimalisir, maka keuntungan finansial secara global akan semakin besar. Tabrakan kecepatan rendah berupa beban *impact* yang dialami suatu kendaraan terdapat pada bagian depan atau belakang kendaraan. Hal tersebut dapat diminimalisir melalui penggunaan sistem bumper. Desain sistem bumper yang efektif mampu menyerap energi *impact* dapat mencegah kerusakan komponen sekitar yang lebih mahal. Akan tetapi sebagian besar bumper yang ada pada saat ini hanya dirancang untuk memenuhi standar minimum tes evaluasi tanpa memperhatikan peningkatan desain bumper untuk mencegah kerusakan yang cukup signifikan akibat tabrakan kecepatan rendah.

Penggunaan bahan bakar pada mobil kendaraan berpenumpang umumnya merupakan bahan bakar tak dapat diperbaharui. Berdasarkan hal tersebut, faktor untuk dapat menghemat penggunaan bahan bakar ialah melalui efisiensi bahan bakar. Salah satu hal yang dapat dilakukan untuk mendapatkan efisiensi bahan bakar ialah melalui penurunan berat pada suatu kendaraan. Pada tahun 2008, S.W. Tsai melakukan penelitian dan

menghasilkan kesimpulan bahwa penurunan berat mobil Toyota Prius sebesar 1/3 dari berat kendaraan dapat mencapai efisiensi kendaraan dua kali lipat. Salah satu bagian dari mobil yang dapat menurunkan berat melalui proses desain atau penggantian material ialah pada bagian bumper *reinforcement beam*. Bumper *reinforcement beam* merupakan bagian pelindung kendaraan yang berfungsi untuk menyerap energi *impact* akibat tabrakan kecepatan rendah.



Gambar 1.1 Bumper *reinforcement beam* salah satu mobil di Indonesia

Komposit adalah kombinasi dua material atau lebih yang digabung atau dicampur untuk menghasilkan suatu material baru dengan sifat yang lebih baik. Penyusun dari komposit ialah matriks dan penguat. Salah satu contohnya ialah komposit dengan matriks polimer dengan penguat partikel. Pada tahun 2014, Widyansyah Ritonga melakukan penelitian mengenai komposit *epoxy* partikel *Hollow Glass Microspheres* (HGM) dengan penambahan HGM sebanyak 15%-20%. Komposit *epoxy* HGM memiliki densitas yang rendah dan kekuatan kompresi yang baik. Berdasarkan penelitian tersebut dapat diketahui prosentase HGM sebesar 16% memiliki tegangan tekan paling bagus dibandingkan dengan prosentase lainnya. Pada tahun 2014, Hindun melakukan penelitian aplikasi komposit *epoxy* dengan penguat HGM pada bumper *beam* dengan dikenai beban *impact*. Pada penelitian

tersebut digunakan 1 macam jenis profil bumper dengan beberapa variasi ketebalan. Hasil yang didapatkan ialah material komposit *epoxy* HGM dapat diaplikasikan sebagai bumper dengan berat yang lebih ringan 42% dari berat bumper aluminium.

Berdasarkan permasalahan diatas dilakukan sebuah penelitian terhadap bumper *reinforcement beam* dengan beberapa macam variasi profil sesuai geometri salah satu mobil di Indonesia. Bumper *reinforcement beam* tersebut dikenai beban *impact* kecepatan rendah. Material yang digunakan ialah komposit *epoxy* dengan penguat HGM dengan fraksi volume sebesar 16%. Desain bumper *reinforcement beam* digambar menggunakan *software* komputer, kemudian dianalisa dengan menggunakan *software finite element*.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kemampuan variasi profil bumper *reinforcement beam* material *epoxy* HGM dalam terdeformasi, menerima tegangan dan menyerap energi saat terkena beban *impact*
2. Bagaimana desain profil bumper *reinforcement beam* yang dapat diaplikasikan dengan menggunakan komposit *epoxy* HGM saat terkena beban *impact*

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui kemampuan variasi profil bumper *reinforcement beam* material *epoxy* HGM dalam terdeformasi, menerima tegangan dan menyerap energi saat terkena beban *impact*
2. Memperoleh desain profil bumper *reinforcement beam* yang dapat diaplikasikan dengan menggunakan komposit *epoxy* HGM saat terkena beban *impact*

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat mencapai tujuan yang diinginkan, maka batasan masalah yang diberikan adalah sebagai berikut:

1. Standar pengujian menggunakan *Economic Comission for Europe* (ECE) regulasi 42
2. Input kecepatan pendulum sebesar 4 km / jam
3. Analisa sistem bumper, khusus pada bagian bumper *reinforcement beam*
4. Profil bumper *beam* yang digunakan ialah B profil, C profil dan O profil
5. Geometri bumper *reinforcement beam* pada mobil MPV di Indonesia
6. *Overall dimension* dari masing-masing profil sama

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dilaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan dalam bidang otomotif
2. Dijadikan sebagai referensi untuk merancang bumper kendaraan.

1.6 Sistematika Penulisan Penelitian

Penulisan disusun dalam lima bab yaitu pendahuluan, tinjauan pustaka dan dasar teori, metodologi penelitian, analisa data dan pembahasan, serta kesimpulan. Adapun perinciannya adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan dijelaskan tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian serta sistematika penulisan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Pada bab tinjauan pustaka dan dasar teori menjelaskan tentang penelitian terdahulu dan teori-teori dasar mengenai bumper, komposit, karakteristik *epoxy* dan *Hollow Glass Microsphere* (HGM) serta konsep pengujian *impact* pada bumper.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab metodologi penelitian dijelaskan tentang diagram alir, data spesimen yang digunakan, metode pengujian yang digunakan, metode simulasi dan segala bentuk prosedur yang diperlukan untuk penelitian ini.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab analisa data dan pembahasan menampilkan data yang didapatkan dan pembahasan data simulasi.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab kesimpulan dan saran diberikan dengan menarik kesimpulan dari hasil percobaan yang telah dianalisa beserta dengan saran untuk penelitian berikutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

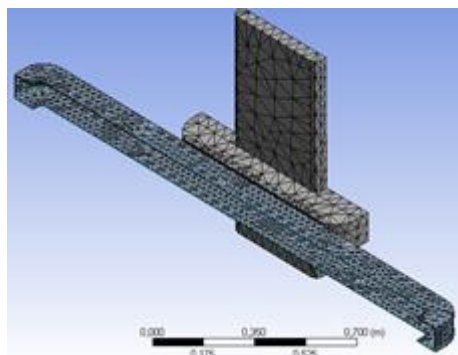
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada tahun 2014, Hindun melakukan penelitian dengan judul Pengaruh Komposit *Epoxy* HGM pada Bumper Depan Kendaraan untuk Mereduksi Energi Impact. Penelitian ini membahas mengenai kemampuan material *epoxy* HGM dalam menyerap energi *impact* untuk aplikasi pada bumper depan dengan variasi ketebalan. Pemilihan material tersebut dikarenakan dalam penambahan bumper pada body kendaraan akan meningkatkan berat kendaraan sehingga bisa menurunkan efisiensi dari kendaraan tersebut. Pemilihan material yang ringan dan memiliki kemampuan menahan beban kompresi sangat diperlukan pada aplikasi bumper kendaraan. *Epoxy* HGM merupakan material yang cocok guna memenuhi persyaratan tersebut.

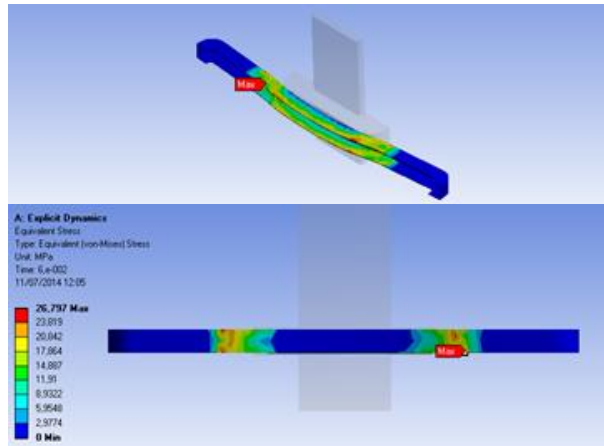
Standar pengujian yang digunakan ialah *Economic Comissions for Europe* (ECE) *United Nations Agreement* no.42 tahun 1994. Bumper diuji dengan pemberian beban *impact* melalui pendulum yang bergerak menuju ke arah bumper seperti pada berikut ini.



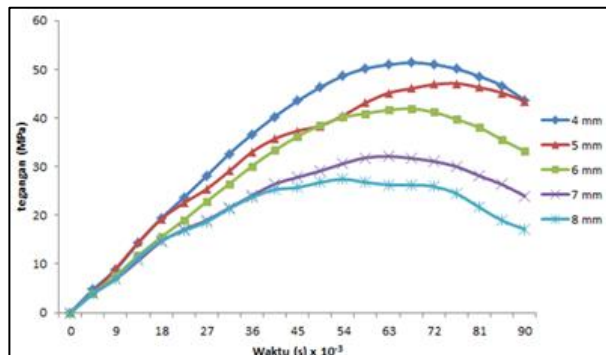
Gambar 2.1 Layout desain bumper dan pendulum pada *software finite element* [Hindun, 2014]

Pendulum tersusun atas material yang terbuat dari baja akan bergerak dan menabrak bumper dengan kecepatan 4 km/jam, sesuai standar ECE 42.

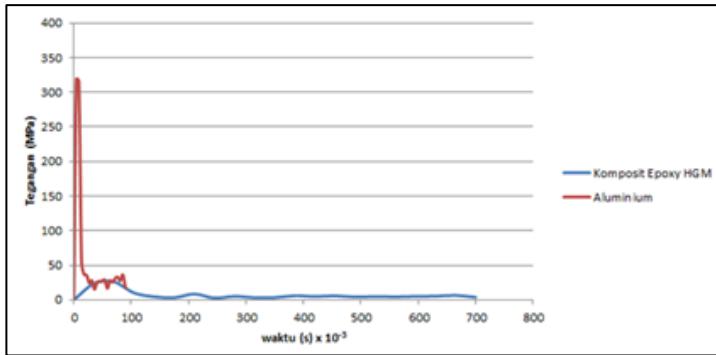
Berikut merupakan beberapa hasil simulasi dari penelitian ini :



Gambar 2.2 Hasil simulasi nilai tegangan von mises pada bumper 8 mm [Hindun, 2014]



Gambar 2.3 Grafik perbandingan tegangan ekuivalen dengan variasi ketebalan [Hindun, 2014]



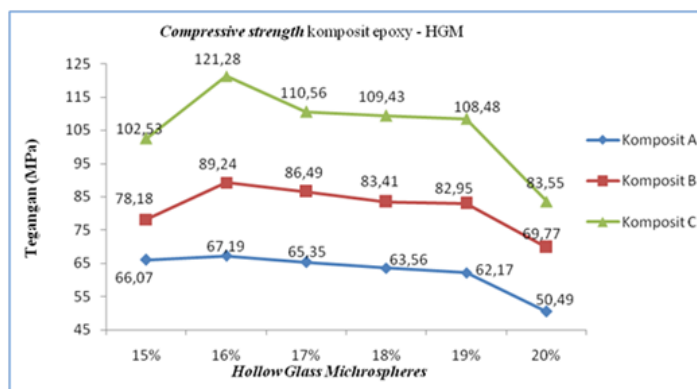
Gambar 2.4 Grafik perbandingan tegangan ekuivalen aluminium dan komposit [Hindun, 2014]

Kesimpulan dari penelitian ini adalah ketebalan maupun jenis material menentukan kekuatan impact untuk bumper. Ketebalan yang semakin meningkat akan menaikkan kemampuan penyerapan energi tapi meningkatkan berat dari bumper. Material *epoxy* HGM sebagai pilihan, dapat diaplikasikan pada bumper suatu kendaraan. Bumper komposit dengan ketebalan 8 mm memiliki massa yang lebih ringan dibandingkan dengan bumper aluminium ketebalan 7 mm. Berat bumper komposit 42% berat bumper aluminium.

Pada tahun 2013, Fachmi Yuni Arista melakukan penelitian mengenai pengaruh fraksi volume HGM dan temperatur curing terhadap karakteristik tekan komposit *epoxy* partikel HGM. HGM ditambahkan sebanyak 0%-30% dengan kenaikan 5%. Didapatkan bahwa komposit dengan penambahan HGM sebanyak 5%-15% akan menambah nilai kekuatan tekannya dan paling maksimal pada penambahan HGM sebanyak 15% yaitu 128,95 MPa. Penambahan partikel HGM pada komposit meningkatkan temperatur transisi (T_g) menjadi 117,38°C.

Pada tahun 2014, Widyansyah Ritonga melakukan penelitian mengenai pengaruh fraksi volume HGM, temperatur, waktu curing dan post-curing terhadap komposit *epoxy* partikel

HGM dengan penambahan HGM sebanyak 15%-20%. Kekuatan tekan komposit berpengaruh pada jumlah penambahan fraksi volume HGM dan temperatur serta lamanya waktu curing. Penelitian ini dilakukan dengan variasi komposit matriks *epoxy* yang ditambahkan HGM sebanyak 15%-20% dengan kenaikan 1% lalu di-curing pada temperatur 27°C selama 24 jam (Komposit A), di-curing 27°C selama 24 jam serta post-curing pada temperatur 90°C selama 5 jam (Komposit B), dan di-curing pada temperatur 90°C selama 24 jam (Komposit C). Hasil yang didapatkan dari penelitian ini yaitu berupa tegangan tekan sebagai berikut ini




Gambar 2.5 Grafik hasil uji tekan [Widyansyah, 2014]

Pada grafik tersebut ditunjukkan nilai tegangan antara ketiga material yang diberi perlakuan secara berbeda. Nilai tegangan tertinggi dimiliki oleh material Komposit C dengan prosentase 16% HGM sebesar 121,28 MPa dengan densitas 1,0345 gr/mm³.

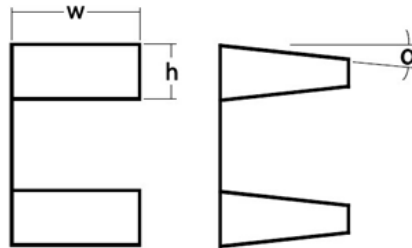
Pada tahun 2009, Garret Bautista, Chad Hardin dan Ben Taylor melakukan penelitian mengenai global bumper *reinforcement beam*. Penelitian tersebut membahas mengenai desain dan geometri yang ditinjau dari beberapa macam aspek yaitu berdasarkan standard dari China, Amerika Utara, dan Eropa

sehingga dapat digunakan menjadi acuan global untuk digunakan pada seluruh mobil yang ada pada saat ini. Dengan menggunakan teknik *pulg-n-play* untuk penambahan bagian bumper diharapkan dapat memenuhi standard bumper yang ada pada saat ini. Analisa balok sederhana dan *finite element analysis* merupakan metoda yang digunakan pada penelitian ini. Proses yang digunakan bermula dari konsep desain yang kemudian dieliminasi hingga menemukan desain dapat digunakan sebagai bumper dalam menangani masalah *impact* akibat tabrakan. Salah satu hasil yang didapatkan yaitu profil utama dan bagian tambahan dari bumper *reinforcement beam*. Berdasar dari beberapa profil yang ditinjau dari berat, energi yang mampu diserap, besar momen inersia dan *manufacturability* didapatkan hasil profil dengan nilai yang ditunjukkan pada data berikut ini.

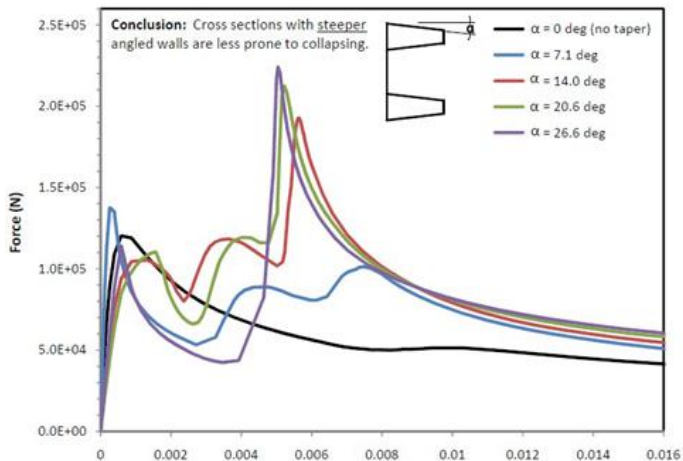
Rating (%)	Description
100	Complete satisfaction; objective satisfied in every respect
90	Extensive satisfaction; objective satisfied in all important aspects
75	Considerable satisfaction; objective satisfied in the majority of aspects
50	Moderate satisfaction; a middle point between complete and no satisfaction
25	Minor satisfaction; objective satisfied in some but less than half of the aspects
10	Minimal satisfaction; objective satisfied to a very small extent
0	No satisfaction; object not satisfied in any respect

		ALTERNATIVES						
								
		Weighting Factor	Tapered	Rectangle	Rectangle with Circular Side	Rectangle with Two Curved Sides	Ellipse	Circle
CRITERIA	Lightweight	20	75% 15	25% 5	75% 15	10% 2	100% 20	100% 20
	Large Energy Absorption	20	100% 20	90% 18	90% 18	50% 10	25% 5	10% 2
	Large Moment of Inertia	50	75% 37.5	90% 45	75% 37.5	100% 50	25% 12.5	10% 5
	Manufacturability	10	90% 9	90% 9	10% 1	25% 2.5	50% 5	100% 10
	Overall Satisfaction	100	81.5	77	71.5	64.5	42.5	37

Gambar 2.6 Matrix Pemilihan Konsep [Garret Bautista, 2009]



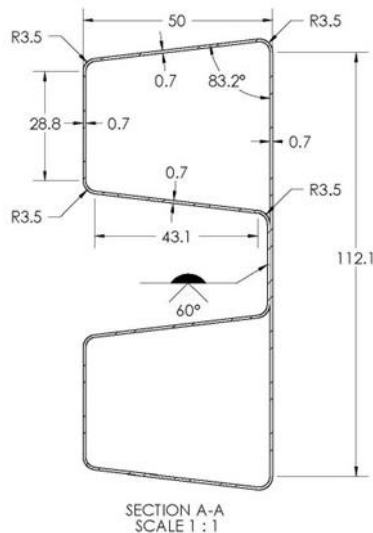
Gambar 2.7 Sketsa profil bumper *reinforcement beam*
[Garret Bautista, 2009]



Gambar 2.8 Grafik perbandingan variasi *tepper α beam*
[Garret Bautista, 2009]

Berdasarkan data tersebut didapatkan bahwa semakin kecil panjang horisontal (w) akan mengurangi terjadinya kerusakan, panjang vertikal (h) tidak memengaruhi akibat dari kerusakan, taper yang diberikan mempengaruhi kemampuan dari profil bumper *reinforcement beam*. Semakin besar sudut tepper maka energi yang mampu diserap akan semakin besar. Setelah ditemukan model sederhana tersebut kemudian dilakukan penyelesaian pemodelan agar bisa diaplikasikan menjadi bumper

secara nyata. Berikut merupakan hasil penyelesaian model dari bumper *reinforcement beam*.



Gambar 2.9 Hasil profil model bumper *reinforcement beam*
[Garret Bautista, 2009]

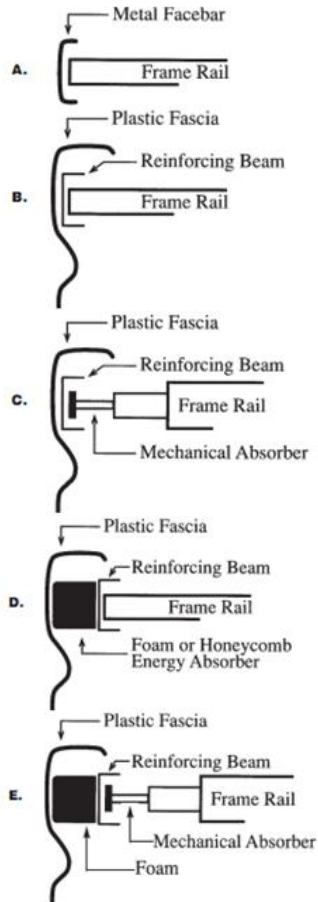
2.2 Bumper

Bumper adalah komponen pada bagian depan maupun belakang mobil yang berfungsi untuk melindungi *body* dan bagian mobil lainnya ketika terjadi tabrakan kecepatan rendah. Fungsi utama yang dimiliki bumper ialah kemampuan menyerap energi akibat dari tabrakan untuk mengurangi efek kerusakan yang dialami kendaraan tersebut.

Terdapat beberapa macam sistem bumper berdasarkan susunannya, pada buku *Steel Bumper for Passenger Vehicles and Light Trucks* tahun 2013, ditunjukkan beberapa sistem bumper yang banyak digunakan pada saat ini, yaitu :

- a. Balok logam (*metal facebar*)
- b. *Plastic Fascia* dengan batang penguat.

- c. *Plastic Fascia*, batang penguat dan penyerap energi (*mechanical absorber*).
- d. *Plastic Fascia*, batang penguat, dan *foam/honeycomb*.
- e. *Plastic Fascia*, batang penguat, *foam*, dan penyerap energi (*mechanical absorber*).

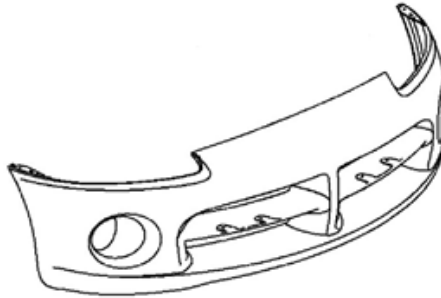


Gambar 2.10 Jenis sistem bumper [*Steel Bumper for Passenger Vehicles and Light Trucks*, 2013]

Berikut merupakan penyusun dari sistem bumper :

1. Fascia / Cover

Fascia merupakan bagian terluar dari sistem bumper. Fascia didesain untuk memenuhi beberapa persyaratan, misalnya aerodinamis, estetika sehingga mampu menarik konsumen.



Gambar 2.11 Fascia bumper [viperpartsofamerica.com, N.D.]

2. Energy Absorbers

Energy absorbers dirancang untuk menyerap sebagian dari energi kinetik dari tabrakan kendaraan. *Energy absorbers* sangat efektif digunakan pada tabrakan kecepatan rendah. Ada beberapa jenis komponen *energy absorbers*, yaitu *foam*, *honeycomb* dan *mechanical devices*. Pada beberapa sistem bumper tidak terdapat komponen *energy absorbers* karena terdapat komponen lain, yaitu bumper *beam* yang dirancang untuk menyerap energi akibat benturan kecepatan rendah.

3. Reinforcing Beam / Bumper Beam

Bumper *beam* merupakan komponen utama dari sistem bumper. Bumper *beam* berfungsi untuk menyerap energi kinetik dari tabrakan. Pemasangan bumper *beam* terletak pada *chassis* kendaraan



Gambar 2.12 Bumper *reinforcement beam* [avtosklad.bg, N.D.]

2.3 Komposit

Komposit merupakan material yang terdiri dari gabungan antara dua atau lebih material untuk mendapatkan sifat mekanik yang tidak bisa didapatkan apabila material diaplikasikan secara individual. Material komposit banyak diaplikasikan karena memiliki kombinasi sifat yang tidak bisa didapatkan apabila menggunakan material konvensional seperti logam, polimer, maupun keramik.

Sifat komposit bervariasi dan bergantung pada berbagai macam faktor, antara lain jenis komponen yang dipilih, distribusi komponen, dan morfologi komponen. Ada beberapa kelebihan dari komposit apabila dibandingkan dengan material konvensional, antara lain ialah sebagai berikut :

- Material komposit mampu berperan menjadi bagian terintegrasi, misalnya satu komposit mampu menggantikan peran dari beberapa material logam.
- Komposit memiliki *stiffness-to-density ratio* yang baik. Rasionya 1/5 dari baja dan 1/2 dari aluminium. Dengan kelebihan ini pesawat maupun kendaraan bermotor bisa bergerak lebih cepat dengan efisiensi bahan bakar yang lebih baik. Kekuatan spesifiknya sekitar tiga hingga lima kali lebih baik jika dibandingkan dengan baja, oleh karena itu

komponen pesawat terbang menggunakan komposit karena lebih ringan namun tetap kuat.

- Endurance limit (*fatigue strength*) dari komposit baik. Untuk paduan aluminium maupun baja *endurance limit* berada pada 50% dari nilai static strength, sementara untuk *unidirectional carbon/epoxy composite* bisa mencapai 90% dari nilai *static strength* [Mazumdar, 2002].
- Komposit terdiri dari dua bahan penyusun, yaitu matriks dan penguat (*reinforcement*). Matriks dapat didefinisikan sebagai suatu bagian dari komposit yang berfungsi sebagai pengikat penguat yang satu dengan yang lain serta mendistribusikan dengan baik beban yang diterima oleh komposit ke penguat. Sedangkan penguat adalah komponen yang dimasukkan ke dalam matriks yang berfungsi sebagai penerima atau penahan beban utama yang dialami oleh komposit dan memiliki sifat lebih kuat dari matriks serta sebagai tempat melekatnya matriks [Ryan S, 2011].

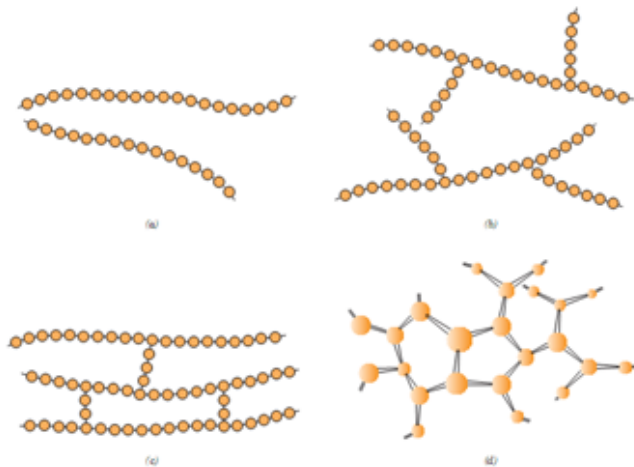
2.3.1 Matriks

Matriks merupakan penyusun dari komposit yang berfungsi sebagai pengisi dan pengikat guna mendukung, melindungi dan mendistribusikan beban dengan baik ke material penguat komposit. Berdasarkan jenis matriksnya, komposit dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Polimer *Matrix Composite* (PMC) yang merupakan komposit dengan jenis matriks polimer. Contoh: Thermoplastik, thermoseting
2. Metal *Matrix Composite* (MMC) yang merupakan komposit berbahan matriks logam. Contoh: Aluminium, magnesium, titanium
3. Ceramic *Matrix Composite* (CMC) yaitu komposit dengan bahan matriks keramik. Contoh: Alumina, aluminium titanate, silicon carbide

2.3.2 Polimer

Kata polimer berasal dari bahasa Yunani *poly* yang berarti banyak dan *meros* yang berarti bagian. Polimer merupakan molekul panjang yang tersusun dari monomer-monomer yang terhubung dari ujung ke ujung. Struktur polimer terdiri dari berbagai jenis yaitu linear, bercabang (*branched*), *cross-linked*, dan jaringan (*network*).



Gambar 2.13 Struktur polimer, (a) *linear*, (b) *branched*, (c) *cross-linked*, (d) *network* [Callister, 2007]

Ada dua jenis polimer, yaitu polimer termoset dan polimer termoplastik. Polimer termoset merupakan polimer yang apabila dipanaskan hingga suhu tertentu akan membentuk susunan berupa *cross-linked* yang tidak bisa dikembalikan seperti semula (*irreversible*). Contoh dari material polimer termoset adalah *epoxy*, *phenolics*, dan beberapa jenis poliester resin. Material polimer termoplastik dapat dipanaskan maupun didinginkan secara berulang-ulang, material ini lebih fleksibel jika dibandingkan dengan material termoset, contoh dari material termoplastik adalah polivinil klorida, polietilen, dan polistiren.

2.3.2.1 Epoxy

Epoxy didapatkan dengan proses curing (*cross-linking*) secara kimiawi dengan amina, anhidrida, fenol, asam karboksilik, dan alkohol. *Epoxy* merupakan resin cair yang mengandung beberapa group epoksida seperti *diglycidyl ether of bisphenol A* (DGEBA) yang memiliki dua grup epoksida. Proses curing dilakukan dengan cara menambahkan curing agent, misalnya *diethylene triamine* (DETA). Selama proses curing molekul-molekul DGEBA akan membentuk ikatan *cross-link*. Ikatan ini akan menghasilkan bentuk tiga dimensi yang disebut *network* dan akhirnya membentuk *epoxy* padat.

Epoxy merupakan salah satu polimer termoset serba guna yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. *Epoxy* banyak digunakan dalam industri penerbangan maupun digunakan untuk peralatan olahraga. Ada berbagai jenis dan grade *epoxy*, sehingga bisa disesuaikan dengan aplikasinya. Adapun beberapa kelebihan dari *epoxy* antara lain :

- Cocok sebagai matiks karena memiliki penyusutan rendah.
- Sifat adhesif material baik.
- Ketahanan kimia material baik.
- *Flame resistance* yang baik.
- Temperatur curing 1200-1700 C.
- Memiliki sifat mekanik material berupa ketangguhan yang baik [P.C Pandey Composite Materials].

Tabel 2.1 Properti polimer termoset [Mazumdar, 2002]

Resin Material	Density [g/cm³]	Tensile Modulus [GPa]	Tensile Strength [Mpa]
Epoxy	1.2-1.4	2.5-5.0	50-110

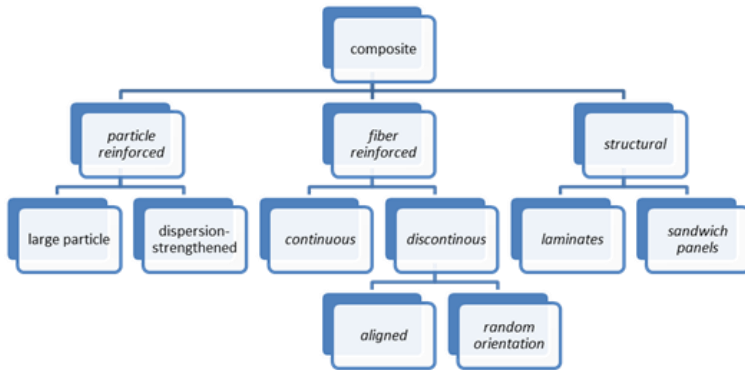
Dari berbagai jenis material termoset ada kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Berikut ini adalah gambar mengenai kelebihan dan kekurangan untuk material *epoxy*, vinylester, dan poliester :

Polyesters	Vinylesters	Epoxies
<ul style="list-style-type: none"> • Advantages <ul style="list-style-type: none"> • easy to use • lowest cost of resins available • Disadvantages <ul style="list-style-type: none"> • only moderate mechanical properties • high styrene emission in open moulds • high cure shrinkage • limited range of working times 	<ul style="list-style-type: none"> • Advantages <ul style="list-style-type: none"> • very high chemical/environmental resistance • high mechanical properties than polyester • Disadvantages <ul style="list-style-type: none"> • Postcure generally required for high properties • high styrene content • higher cost than polyesters • high cure shrinkage 	<ul style="list-style-type: none"> • Advantages <ul style="list-style-type: none"> • high mechanical and thermal properties • high water resistance • long working times available • temperatur resistance can be up to 140°C wet or 220°C dry • Low cure shrinkage • Disadvantages <ul style="list-style-type: none"> • more expensive than vinylester • critical mixing • corrosive handling

Gambar 2.14 Kelebihan dan kekurangan material polimer poliester, vinilester, dan *epoxy* [SP System.Composite Engineering Material, N.D.].

2.3.3 Penguat (*Reinforcement*)

Penguat (*reinforcement*) dalam teknologi komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai merupakan suatu konstruksi/rangka tempat melekatnya matriks. Penguat (*reinforcement*) memiliki sifat lebih kuat dari fase matriks. Komposit bisa diklasifikasikan berdasarkan jenis penguatnya, ada beberapa jenis komposit berdasarkan penguatnya, yaitu komposit dengan penguat partikel, komposit dengan penguat fiber, dan komposit struktural.



Gambar 2.15 Klasifikasi komposit berdasarkan penguat [Callister, 2007].

Pada sub-spesifikasi *particle-reinforced*, penguat yang digunakan berbentuk partikel. Ada dua jenis penguat berbentuk partikel, yaitu *large particle* dan *dispersion strengthening*. Kedua jenis ini dibedakan berdasarkan penguat dan mekanisme penguatannya. Interaksi antara matriks dan penguat memegang peranan penting. Penguat cenderung menahan pergeseran matriks di sekeliling partikel dan menerima distribusi tegangan dari matriks. Peningkatan kualitas sifat-sifat mekaniknya tergantung pada ikatan *interface* matriks dan partikel.

Komposit jenis *dispersion strengthened* merupakan penguat partikel yang umumnya berukuran kecil. Pada prinsipnya, penguatan pada komposit jenis ini hampir sama dengan *precipitation hardening*, dimana matriks berfungsi sebagai penerima beban, sedangkan partikel-partikel kecilnya sebagai penghambat pergerakan dislokasi.

2.3.3.1 Hollow Glass Microspheres

Hollow Glass Microsphere (HGM) merupakan penguat jenis partikel berbentuk bola kaca berukuran mikroskopis yang pada umumnya diaplikasikan untuk penelitian, dunia medis, dan produk untuk konsumen di berbagai jenis industri. HGM terbuat

dari kaca dengan ketebalan tertentu dan di dalamnya memiliki lubang berisi gas inert. Bola kaca ini umumnya memiliki diameter mulai dari 1 mikron hingga 1000 mikron. HGM cocok digunakan sebagai penguat material komposit dengan kelebihan antara lain :

- HGM memiliki massa jenis yang kecil.
- Konduktivitas termal yang rendah
- Ketahanan terhadap beban kompresi yang baik

HGM jenis iM30K, merupakan HGM yang terbuat dari material *soda-lime-borosilicate glass* dengan densitas 610 kg/m³, dengan diameter rata-rata untuk setiap partikelnya adalah 18 mikron. HGM ini memiliki kekuatan *isostatic crush* yang cukup tinggi yaitu 28000 psi (193 MPa).

Tabel 2.2 Spesifikasi HGM iM30K [Alexander Trofimov, 2007].

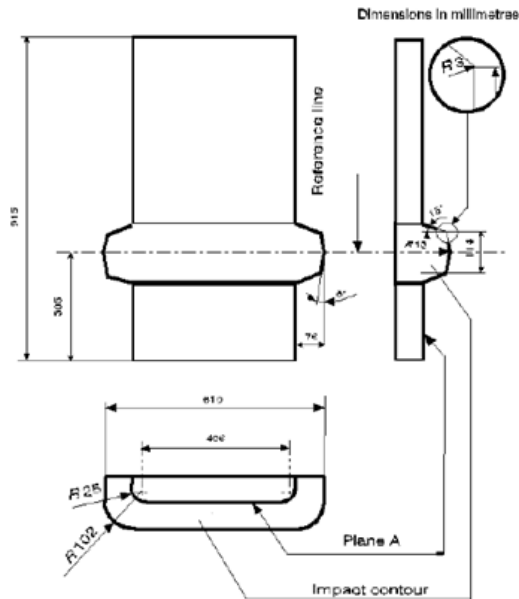
Property	IM30K	
<i>Shape</i>	<i>Hollow spheres with thin walls</i>	
<i>Composition</i>	<i>Soda-lime-borosilicate glass</i>	
<i>Color, Unaided Eye</i>	<i>White powder</i>	
<i>Physical Properties</i>	<i>IM30K</i>	<i>Test Method</i>
<i>Isostatic Crush Strength</i>	<i>28000 psi</i>	<i>3M QCM 14.1.8</i>
<i>True Density</i>	<i>610 kg/m³</i>	<i>3M QCM 14.24.1</i>
<i>Packing Factor (bulk density to true particle density)</i>	<i>63%</i>	
<i>Oil Absorption</i>	<i>33.5</i>	<i>ASTM D282-84 of polymer additive</i>
<i>Softening Point</i>	<i>600°C</i>	
<i>Flotation Density</i>	<i>90% (in volume)</i>	<i>3M QCM 37.2</i>
<i>Volatile content (by weight)</i>	<i>0,5 % max</i>	<i>3M QCM 1.5.7</i>
<i>Alkalinity (miliequivalents)</i>	<i>0,5</i>	<i>3M QCM 55.19gr/max</i>
<i>pH(5% loading in water)</i>	<i>9,5</i>	<i>ASTM D3100-1982</i>
<i>Diameter</i>	<i>18 mikrons</i>	<i>3M QCM 193.0</i>

2.4 Standard Pengujian Bumper ECE R.42

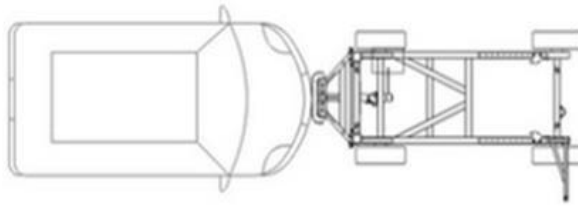
ECE (*Economic Commission for Europe*) Regulation 42 adalah peraturan tentang alat pelindung bumper kendaraan roda empat atau lebih, yang dapat mengangkut penumpang sejumlah delapan orang (termasuk pengemudi). Peraturan ini berlaku untuk bumper depan atau belakang dari mobil berpenumpang ketika terlibat dalam suatu tabrakan kecepatan rendah. Bumper dikategorikan lolos uji jika :

- Sistem pencahayaan utama dan lampu pemberi sinyal harus dapat beroperasi secara normal setelah pengujian.
- Sistem bahan bakar dan sistem pendinginan tidak boleh bocor atau terganggu setelah terjadi benturan.
- Sistem penggerak, suspensi termasuk ban, sistem kemudi, serta sistem rem harus berfungsi secara normal.

Longitudinal Test merupakan pengujian yang digunakan pada standar ini dengan cara bumper dikenai benturan sejajar dengan menggunakan pendulum atau *impactor* pada kecepatan 4 km/jam. Pendulum atau *impactor* yang digunakan terbuat dari material baja yang kaku dan keras. Pengujian tersebut dilakukan dengan ketinggian referensi 445 mm dari permukaan tanah. Ketinggian referensi merupakan ketinggian dari permukaan tanah dimana sebuah kendaraan harus memiliki alat pelindung yang memadai.



Gambar 2.16 Pendulum untuk *longitudinal test* [ECE R.42, 1980]



Gambar 2.17 Ilustrasi pengujian bumper terhadap tabrakan dari depan [concept-tech.com, N.D.].

2.5 Finite Element Method

Finite element method (metode elemen hingga) adalah salah satu metode numerik untuk memecahkan permasalahan yang kompleks dan permasalahan analisis struktural di dunia *engineering*. Metode tersebut dipilih karena dapat menyelesaikan permasalahan yang sukar diselesaikan apabila menggunakan metode analitik/mekanis. Saat ini FEM telah diterapkan dalam berbagai persoalan teknik, seperti struktur, dinamika fluida, perpindahan panas, akustik, maupun elektromagnetik. FEM merupakan cara atau metode numeris untuk mendapatkan penyelesaian dari persamaan diferensial (PD) maupun persamaan integral. Penyelesaian PD didasarkan pada penyederhanaan PD yang kompleks menjadi PD biasa, kemudian PD biasa tersebut diselesaikan dengan cara integral numeris menggunakan metoda Euler. *Software* FEM digunakan melalui pemodelan fisik yang disusun atas elemen-elemen kecil (*meshing*), pendefinisian sifat-sifat material, pemberian kondisi batas dan pembebanan, yang kemudian dijalankan simulasinya untuk bisa mendapatkan solusi hasil yang diinginkan. Hasil yang didapatkan merupakan suatu pendekatan sehingga mendekati kondisi sesungguhnya.

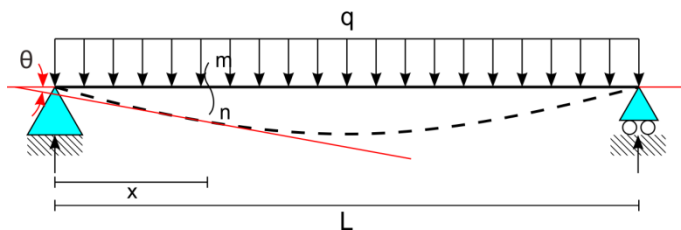
Terdapat berbagai macam *analysis system* pada *software finite element*, *analysis system* dipilih berdasarkan permasalahan yang akan diteliti. Salah satu sistem analisa tersebut ialah *explicit dynamics*. *Explicit Dynamics* memiliki beberapa kemampuan dan

keunggulan terhadap beberapa permasalahan. Berikut merupakan keunggulan sistem analisa *Explicit Dynamics* :

1. Cocok untuk memodelkan formasi dan arah gerak dari *stress* beserta *shockwave*
2. Dapat memodelkan deformasi material dan failure pada laju *strain* yg tinggi (*impact*)
3. Dapat mensimulasikan kontak yang kompleks (*crash, manufacturing*)
4. Dapat menyelesaikan permasalahan berupa inputan yang memiliki energi cukup tinggi dengan durasi pendek (*impact*)

2.6 Defleksi / Lenturan

Pada perencanaan balok (*beam*) untuk suatu konstruksi perlu diperhatikan lenturan akibat pembebanan disamping tegangan yang terjadi. Besarnya lenturan pada balok tidak boleh melebihi harga batas tertentu untuk suatu konstruksi pada keperluan tertentu. Berikut merupakan metode perhitungan lenturan menggunakan metode integral ganda :



Gambar 2.18 *Free body diagram* balok akibat beban merata

Momen bending pada penampang potongan m-n yang berjarak x dari tumpuan A :

$$M_{(x)} = \frac{qL}{2}x - \frac{qx^2}{2}$$

Persamaan lenturan balok :

$$\begin{aligned}\frac{d^2y}{dx^2} &= -\frac{M_{(x)}}{EI_z} \\ &= -\frac{1}{EI_z} \left(\frac{qL}{2}x - \frac{qx^2}{2} \right) \\ EI_z \frac{d^2y}{dx^2} &= -\frac{1}{2}qLx + \frac{1}{2}qx^2\end{aligned}\quad (2.1)$$

Integral persamaan 2.1 :

$$EI_z \frac{dy}{dx} = -\frac{1}{4}qLx^2 + \frac{1}{6}qx^3 + C_1 \quad (2.2)$$

Dimana,

$$\text{tg } \theta = \frac{dy}{dx}$$

Untuk $x = \frac{1}{2}L \rightarrow \theta = 0$

Maka persamaan 2.2 menjadi :

$$-\frac{1}{4}qL\left(\frac{L}{2}\right)^2 + \frac{1}{6}q\left(\frac{L}{2}\right)^3 + C_1 = 0$$

$$C_1 = \frac{qL^3}{24}$$

Harga C_1 masuk ke persamaan 2.2 :

$$EI_z \frac{dy}{dx} = -\frac{1}{4}qLx^2 + \frac{1}{6}qx^3 + \frac{1}{24}qL^3 \quad (2.3)$$

Integral persamaan 2.3 :

$$EI_z y = -\frac{1}{12}qLx^3 + \frac{1}{24}qx^4 + \frac{1}{24}qL^3x + C_2 \quad (2.4)$$

Pada ujung-ujung tumpuan balok \rightarrow lenturan = 0, maka C_2 dapat dihitung dengan memasukkan $y = 0$ untuk $x = 0$ pada persamaan 2.3.

Didapatkan, $C_2 = 0$

Sehingga persamaan 2.4 menjadi :

$$y = \frac{1}{24} \frac{q}{EI_z} (L^3 x - 2Lx^3 + x^4) \quad (2.5)$$

Persamaan 2.5 dapat digunakan untuk menghitung lenturan balok akibat beban merata sebagai fungsi x . Sedangkan lenturan maksimum terjadi di tengah-tengah balok → dengan memasukkan harga $x = L/2$ pada persamaan 2.5 akan diperoleh

$$y = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI_z} \quad (2.6)$$

Dimana :

M = momen bending (Nm)

E = modulus elastisitas bahan material (Pa)

I_z = Momen kelembaman luasan penampang balok terhadap sumbu z (m^4)

Y = lenturan (m)

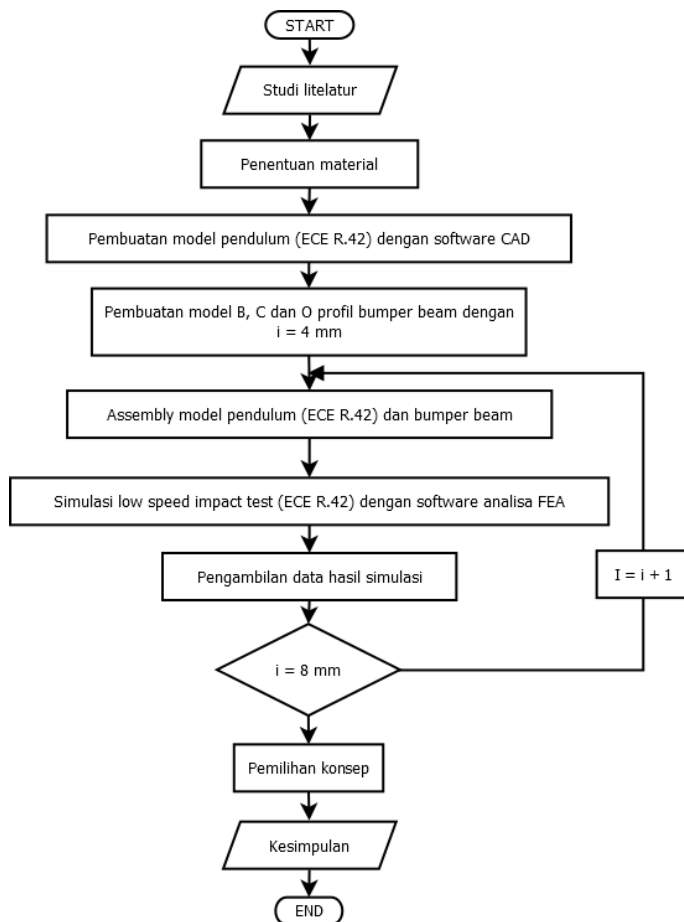
X = jarak titik yang ditinjau terhadap titik awal (m)

θ = sudut antara garis singgung lenturan balok dengan sumbu x

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Skema diagram alir penelitian

1. Studi Literatur

Studi literatur yang dilaksanakan pada penelitian ini bertujuan untuk mendukung penelitian yang akan dilaksanakan. Pada studi literatur ini secara garis besar dibagi menjadi dua bagian yaitu dasar teori dan kajian pustaka. Selain itu juga dilakukan penelitian di lapangan mengenai geometri dan berat yang dimiliki salah satu mobil MPV yang ada di Indonesia.



Gambar 3.2 Tampak depan salah satu mobil MPV di Indonesia



Gambar 3.3 Tampak depan bumper *reinforcement beam*



Gambar 3.4 Tampak belakang bumper *reinforcement beam*

Spesifikasi :
Panjang = 100 cm
Lebar = 12 cm
Material = Steel
Tebal plat = 0,3 cm



Gambar 3.5 *Support bumper reinforcement beam*



Gambar 3.6 Tampak depan *support bumper reinforcement beam*

2. Penentuan Material

Material yang digunakan pada penelitian ini ialah material komposit matriks *epoxy* dengan penambahan 16% HGM dan material referensi bumper yaitu *steel*. Properti material komposit didapatkan bedasar hasil eksperimen yang telah

dilakukan oleh Widiensyah pada tahun 2014. Berikut merupakan properti material dari *steel* dan komposit *epoxy* HGM 16% :

Diketahui :

$$\sigma = 121,29 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon_l = 0,239$$

$$\varepsilon_a = 1,483$$

$$\rho = 1,0358 \text{ gr/cm}^3 = 1035,8 \text{ kg/m}^3$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_l} \quad (3.1)$$

$$v = \frac{\varepsilon_l}{\varepsilon_a} \quad (3.2)$$

Tabel 3.1 Properti Material

Material	Poisson Ratio	Modulus Young [Mpa]	Densitas [kg/m ³]
<i>Epoxy</i> HGM 16%	0,16	508	1035,8
Structural steel	0,3	200000	7850

Keterangan :

σ = Tegangan maksimum

ε_l = Regangan lateral

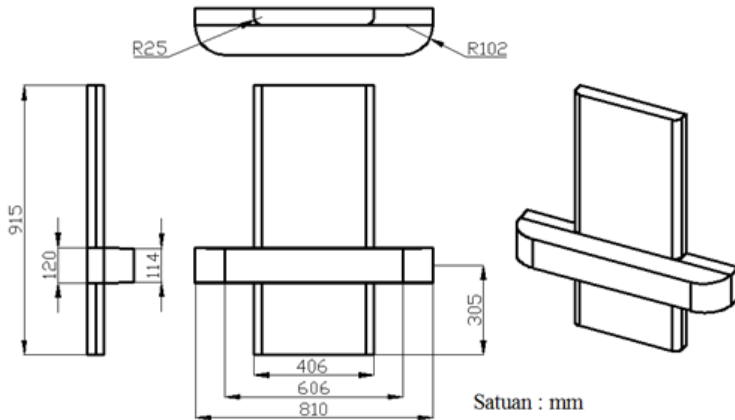
ε_a = Regangan axial

ρ = Densitas

v = Poisson ratio

3. Pembuatan Model Pendulum

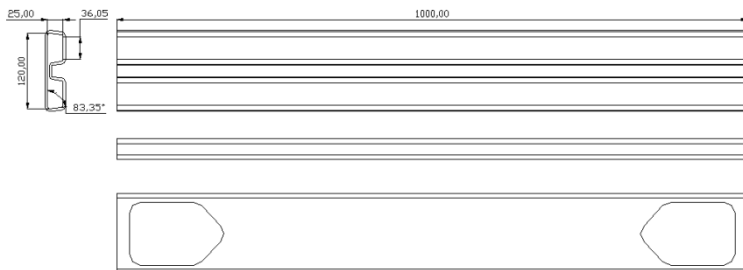
Pada penelitian ini digunakan standard pengujian *United National Economic Commissions for Europe* (ECE) *Regulation* 42. Berikut merupakan pendulum sesuai standar ECE regulasi 42. Satuan ukuran yang digunakan ialah milimeter.



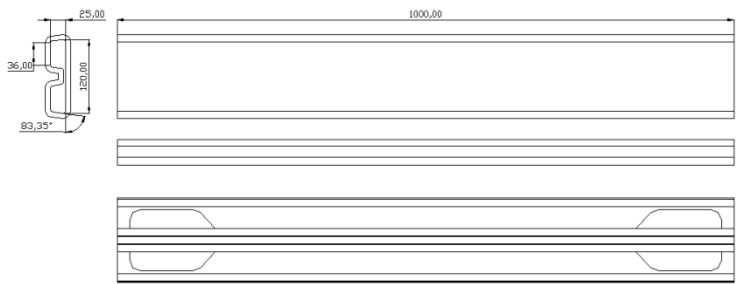
Gambar 3.7 Pendulum untuk *longitudinal test*

4. Pembuatan Model Bumper *Reinforcement Beam*

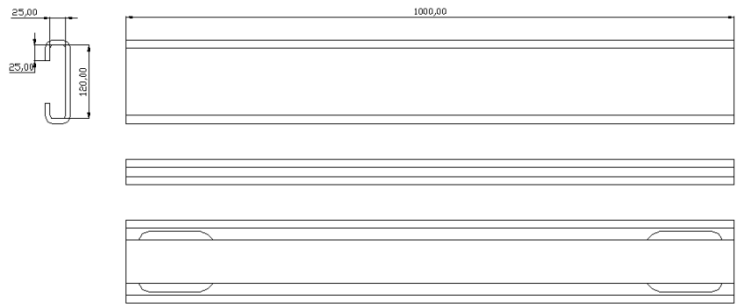
Pembuatan model bumper *beam* pada penelitian ini berdasarkan jenis kendaraan MPV (*Multi Passenger Vehicle*) di Indonesia. Profil bumper *reinforcement beam* yang akan diteliti ialah B profil, C profil dan O profil. Berikut merupakan model bumper *beam* yang akan diuji secara simulasi.



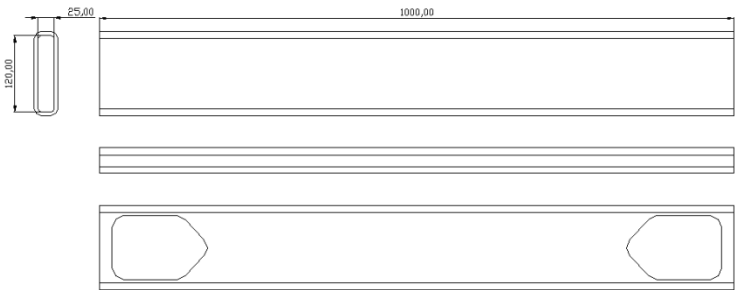
Gambar 3.8 Bumper *reinforcement beam* B1 profil



Gambar 3.9 Bumber *reinforcement beam* B2 profil



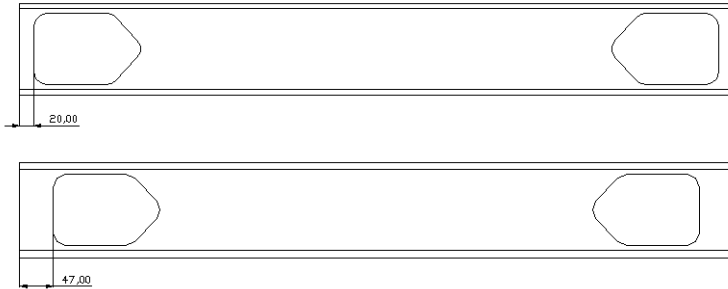
Gambar 3.10 Bumber *reinforcement beam* C profil



Gambar 3.11 Bumber *reinforcement beam* O profil

5. *Support*

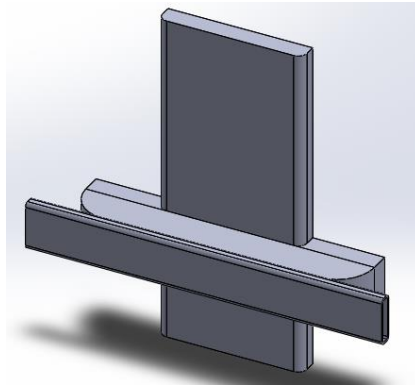
Support yang diberikan pada bumper dianggap sebagai geometri yang rigid. Lokasi *support* ditentukan berdasarkan geometri pendulum yang dikenai pada bumper *reinforcement beam*. Berikut merupakan model lokasi *support* yang diberikan



Gambar 3.12 Lokasi *support*

6. *Assembly Pendulum dan Bumper Beam*

Pada proses ini dilakukan *assembly* antara model pendulum dan bumper *beam* yang telah dibuat. Proses *assembly* dilakukan dengan menggunakan *software* CAD. Penentuan kontak antara pendulum dengan bumper beam berada di tengah-tengah. Berikut merupakan hasil dari *assembly* antara model pendulum dan bumper *beam*



Gambar 3.13 *Assembly Pendulum dan Bumber beam*

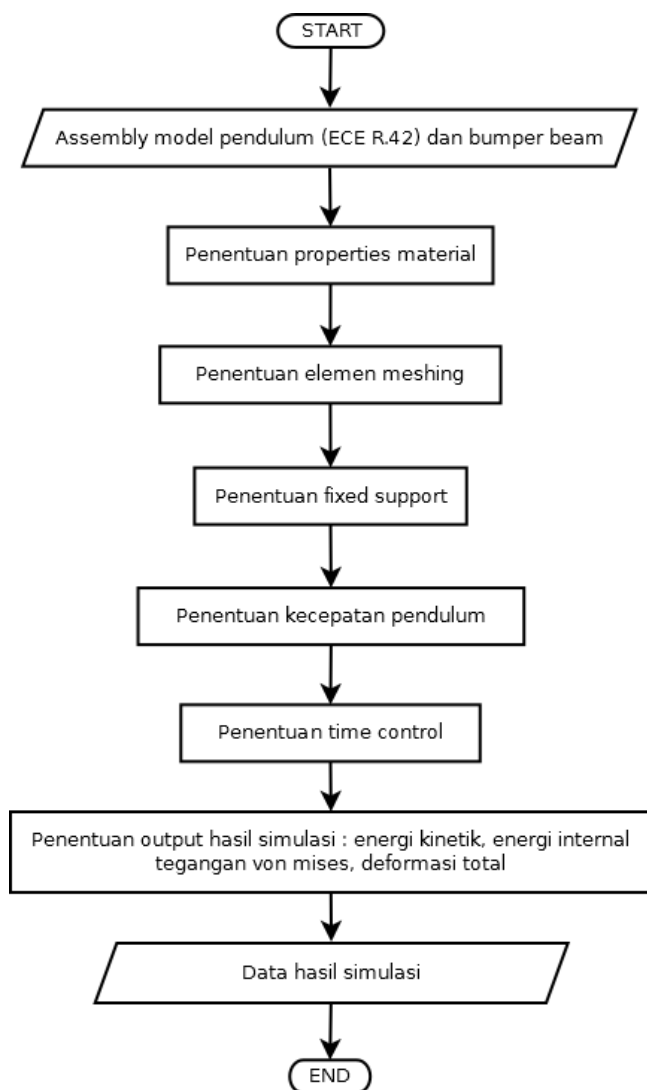
7. Simulasi Pengujian

Simulasi pengujian pada penelitian ini menggunakan *software Finite Element* (Elemen Hingga). Dalam software tersebut terdapat pemilihan sistem analisa, *analysis system* yang digunakan untuk kasus ini adalah *Explicit Dynamic*. Dari simulasi pengujian ini nantinya akan didapatkan data hasil yang dibutuhkan.

8. Kesimpulan

Setelah dilakukan simulasi pengujian, langkah selanjutnya ialah melakukan pembahasan analisa data dan pemilihan konsep diantara beberapa profil yang telah disimulasikan. Berdasarkan pembahasan tersebut, akan ditarik kesimpulan terhadap penelitian ini.

3.2 Diagram Alir Simulasi Pengujian



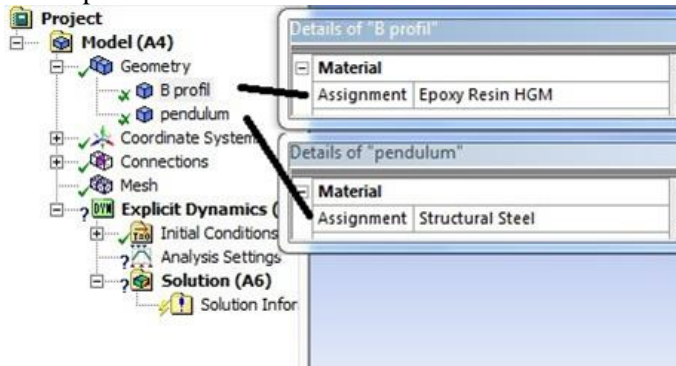
Gambar 3.14 Skema diagram alir simulasi

1. Assembly Model Pendulum dan Bumper *Beam*

Model pendulum dan bumper *beam* yang telah di *assembly* digunakan sebagai model awal untuk simulasi pada *software* FEA.

2. Penentuan Material

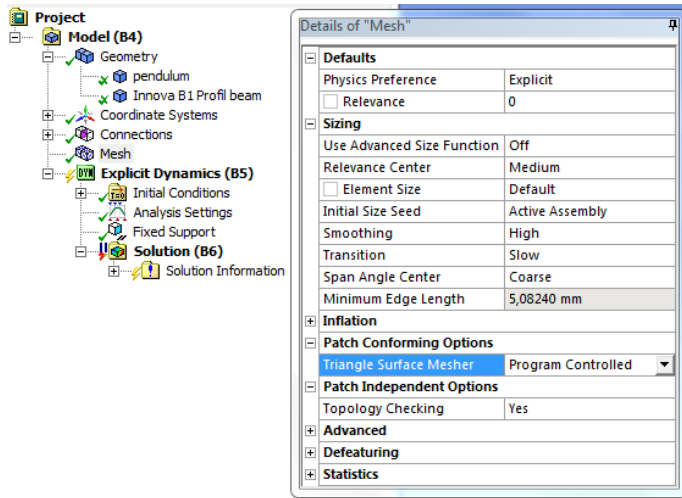
Spesifikasi material yang telah ada dimasukkan pada material *engineering software* FEA. Setelah itu dipilih material *structural steel* untuk pendulum dan material *epoxy resin HGM* untuk bumper *beam*



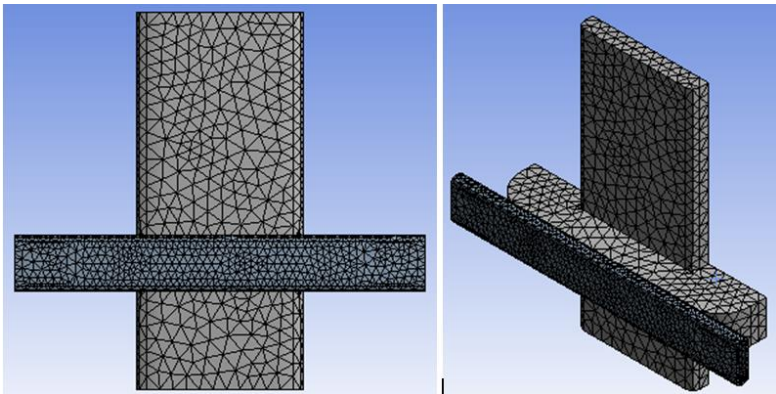
Gambar 3.15 Detail pemilihan material

3. Penentuan Elemen *Meshing*

Meshing merupakan proses pembagian model menjadi elemen-elemen kecil. Pemilihan *meshing* yang digunakan sesuai dengan standar *default* yang dimiliki oleh *software finite element*. Berikut merupakan detail pemilihan *meshing* yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3.16 Detail pemilihan *meshing*.

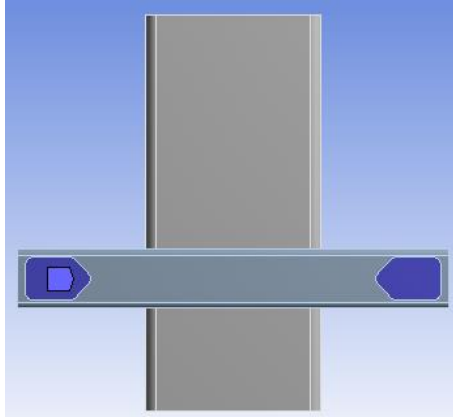


Gambar 3.17 *Meshing* antara pendulum dan bumper beam

4. Penentuan *Fixed Support*

Fixed support pada bumper diasumsikan sebagai tumpuan dengan material yang rigid. Asumsi tersebut dilakukan agar analisa dapat terfokus pada bagian bumper *reinforcement beam*. Pemodelan *fixed support* digambarkan melalui *split line*

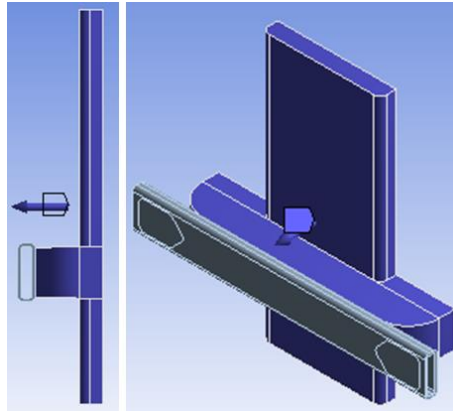
pada bumper. Berikut merupakan hasil pemberian *fixed support* pada *bumper reinforcement beam*.



Gambar 3.18 Pemberian *fixed support* pada bumper beam.

5. Penentuan Kecepatan pada Pendulum

Kecepatan yang diberikan pada pendulum ialah 4 km/jam atau setara dengan 1110 mm/s sesuai dengan standard ECE regulasi 42. Arah yang diberikan menuju pada bumper *reinforcement beam*. Berikut merupakan hasil dari pemberian arah dan kecepatan pada pendulum.



Gambar 3.19 Arah dari kecepatan pada pendulum

6. Penentuan Time Control

Pada sistem analisa *explicit dynamics* diperlukan input berupa waktu untuk melakukan lama dari proses simulasi yang akan dijalankan. Pada penelitian ini ditentukan waktu akhir hingga kecepatan yang dimiliki pendulum sebesar 0 m/s

7. Penentuan Output Hasil Simulasi (*Solution*)

Pada tahap ini dilakukan pemilihan data yang ingin dihasilkan, yaitu tegangan (*Von Mises Equivalent Stress*), energi kinetik, energi *internal* dan deformasi total bumper. Proses simulasi dilakukan dengan melakukan *solve* untuk pengkondisian yang telah ditetapkan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

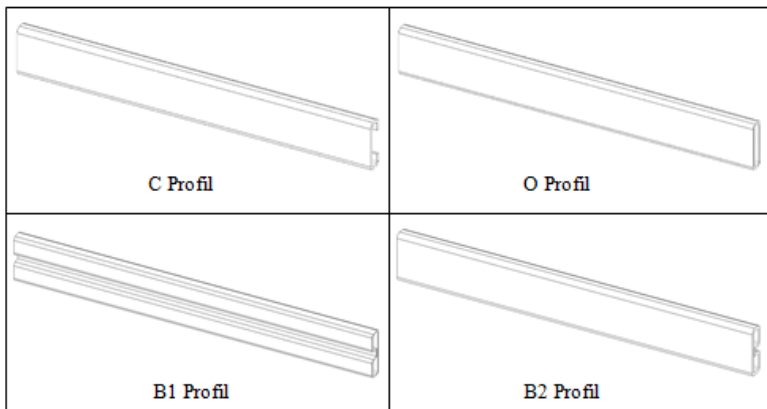
BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Simulasi

Analisa data dan pembahasan pada bab ini berisi tentang hasil pengolahan data numerik dalam bentuk data kuantitatif dan kualitatif. Data kualitatif ditunjukkan dalam bentuk grafik, *scatter* dan histogram, sedangkan data kualitatif merupakan hasil visualisasi deformasi dan tegangan yang dialami pada bumper *reinforcement beam*.

Proses pengambilan data melalui proses simulasi dengan bantuan software *finite element*. Bumper *reinforcement beam* dikenai beban impact dengan kecepatan pendulum sebesar 4 km/h atau setara dengan 1,11 m/s. Model pendulum dan besar kecepatan yang diberikan sesuai dengan standard pengujian *Economic Comission for Europe* (ECE) regulasi nomor 42. Berikut merupakan profil bumper *reinforcement beam* yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 4.1 Profil bumper *reinforcement beam*

Model pendulum dan profil bumper *reinforcement beam* dibuat dengan bantuan software CAD. Setelah itu dilakukan

proses *assembly* antara pendulum dengan masing-masing profil bumper *reinforcement beam*. Hasil *assembly* disimpan dalam format *file parasolid (x_t)*. *File* tersebut nantinya akan menjadi *input* untuk proses simulasi kedalam *software finite element*.

Terdapat beberapa tahapan sebelum memulai proses simulasi, tahap *pre-processing* yang dilakukan ialah input geometri, pemilihan material, input kecepatan, penentuan *fixed support* dan *meshing*. Proses selanjutnya dilakukan proses simulasi hingga kecepatan dari pendulum mencapai 0 m/s. Dari proses simulasi didapatkan data yang akan dianalisa, data-data tersebut meliputi deformasi, tegangan, energi kinetik pendulum, dan energi internal bumper. Berikut merupakan data hasil yang diperoleh dari proses simulasi

Tabel 4.1 Spesifikasi bumper material komposit *epoxy HGM*

Jenis	Ketebalan (mm)	Volume (mm ³)	Berat (kg)
C Profil	4	895930	0,928
O Profil	4	1175900	1,218
B1 Profil	4	1305800	1,353
B2 Profil	4	1305800	1,353
C Profil	6	1381600	1,431
O Profil	6	1801600	1,866
B1 Profil	6	1994500	2,066
B2 Profil	6	1994500	2,066
C Profil	8	1892400	1,960
O Profil	8	2452400	2,540
B1 Profil	8	2705700	2,803
B2 Profil	8	2705700	2,803

Tabel 4.2 Nilai deformasi total bumper

Jenis	Ketebalan (mm)	Waktu (s) Hingga $v=0$ m/s	Deformasi Total Maksimal (mm)
C Profil	4	0,0526	40,664
O Profil	4	0,0414	31,556
B1 Profil	4	0,0245	19,086
B2 Profil	4	0,0274	22,811
C Profil	6	0,0471	34,479
O Profil	6	0,0382	27,884
B1 Profil	6	0,0220	17,058
B2 Profil	6	0,0241	19,691
C Profil	8	0,0424	30,626
O Profil	8	0,0345	24,604
B1 Profil	8	0,0208	16,047
B2 Profil	8	0,0222	18,108

Tabel 4.3 Nilai tegangan von mises bumper

Jenis	Ketebalan (mm)	Tegangan Ekuivalen Maksimal (MPa)
C Profil	4	209,550
O Profil	4	144,660
B1 Profil	4	183,290
B2 Profil	4	227,220
C Profil	6	126,330
O Profil	6	103,980
B1 Profil	6	134,280
B2 Profil	6	207,750
C Profil	8	89,427
O Profil	8	84,999
B1 Profil	8	100,110
B2 Profil	8	134,040

Tabel 4.4 Nilai absorpsi energi bumper

Jenis	Tebal (mm)	EK Max Pendulum (J)	EK Min Pendulum (J)	Energi Internal (J)	Energi Kinetik (J)	Penyerapan
C Profil	4	743,49	100,11	640,72	2,537	99,98%
O Profil	4	743,49	100,88	639,33	1,331	99,70%
B1 Profil	4	743,49	104,05	628,83	6,658	99,38%
B2 Profil	4	743,49	102,4	628,13	8,433	99,29%
C Profil	6	743,49	101,75	639,74	1,737	99,96%
O Profil	6	743,49	101,7	639,72	1,552	99,92%
B1 Profil	6	743,49	108,02	630,4	1,941	99,51%
B2 Profil	6	743,49	107,06	628,36	1,793	99,01%
C Profil	8	743,49	101,52	639,86	1,776	99,95%
O Profil	8	743,49	97,88	642,75	2,21	99,90%
B1 Profil	8	743,49	109,74	627,37	2,54	99,40%
B2 Profil	8	743,49	105,86	627,8	2,268	98,82%

Tabel 4.5 Tabel O profil ketebalan 3 mm material steel

Volume (mm ³)	Berat (kg)	Waktu (s) Hingga v=0 m/s	Tegangan Ekuivalen Maksimal (Mpa)	Deformasi Total Maksimal (mm)
872250	6,806	0,0034	424,182	2,066

Tabel 4.6 Tabel energi O profil ketebalan 3 mm material steel

EK Max Pendulum (J)	EK Min Pendulum (J)	Energi Internal (J)	Energi Kinetik (J)	Penyerapan
743,490	123,720	535,450	3,299	86,93%

Tabel 4.7 Tabel B1 profil pada masing-masing ketebalan

Tebal	Berat (kg)	Waktu (s) Hingga v=0 m/s	Tegangan Ekuivalen Maksimal (Mpa)	Deformasi Total Maksimal (mm)
4 mm	1,353	0,0245	183,290	19,086
5 mm	1,706	0,0227	139,140	17,648
6 mm	2,066	0,0220	134,280	17,058
7 mm	2,431	0,0212	109,080	16,505
8 mm	2,803	0,0208	100,110	16,047

Tabel 4.8 Tabel energi B1 profil pada masing-masing ketebalan

Tebal	EK Max Pendulum (J)	EK Min Pendulum (J)	Energi Internal (J)	Energi Kinetik (J)	Penyerapan
4 mm	743,490	104,050	628,830	6,658	99,38%
5 mm	743,490	109,100	624,940	2,646	98,93%
6 mm	743,490	108,020	630,400	1,941	99,51%
7 mm	743,490	100,640	640,400	2,082	99,94%
8 mm	743,490	109,740	627,370	2,540	99,40%

Tabel 4.9 Tabel B1 profil pada lokasi tumpuan berbeda

Lokasi dari ujung	Tebal	Berat (kg)	Waktu (s) Hingga $v=0$ m/s	Tegangan Ekuivalen Maksimal (MPa)	Deformasi Total Maksimal (mm)
0,47 mm	7 mm	2,431	0,0164	140,090	12,437
	8 mm	2,803	0,0159	118,880	12,078
0,2 mm	7 mm	2,431	0,0212	109,080	16,505
	8 mm	2,803	0,0208	100,110	16,047

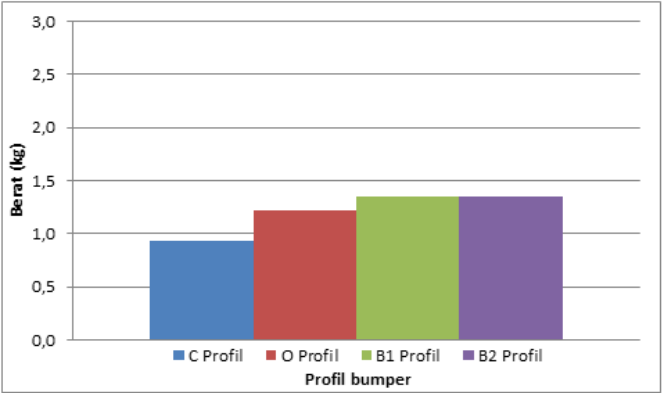
Tabel 4.10 Tabel Energi B1 profil pada lokasi tumpuan berbeda

Lokasi dari ujung	Tebal	EK Max Pendulum (J)	EK Min Pendulum (J)	Energi Internal (J)	Energi Kinetik (J)	Penyerapan
0,47 mm	7 mm	743,490	110,220	625,850	2,183	99,17%
	8 mm	743,490	110,610	624,690	2,412	99,09%
0,2 mm	7 mm	743,490	100,640	640,400	2,082	99,94%
	8 mm	743,490	109,740	627,370	2,540	99,40%

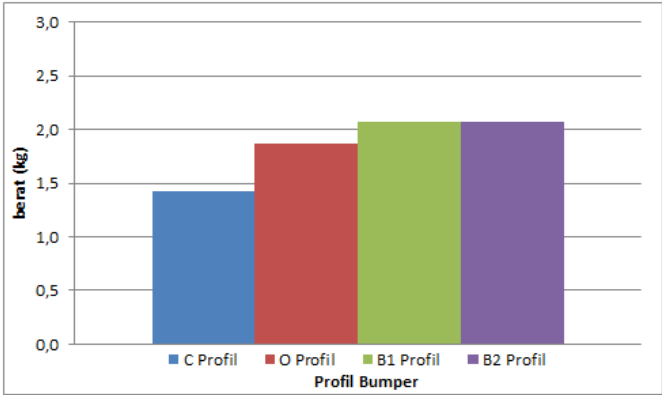
4.2 Analisa Data dan Pembahasan

4.2.1 Berat Antar Profil

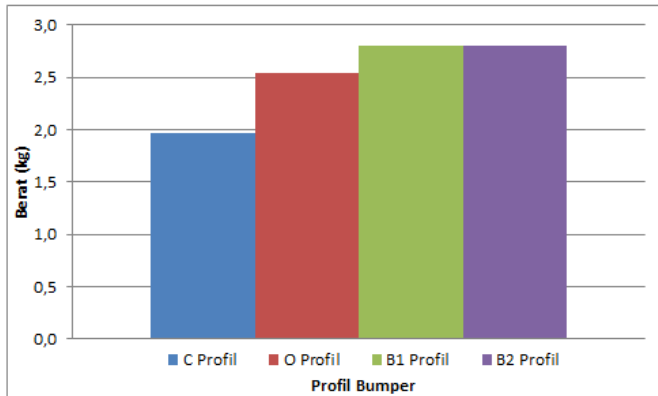
Berat merupakan salah satu faktor hal yang melandasi penelitian ini untuk bisa mendapatkan penurunan berat kendaraan dengan material komposit yang diaplikasikan pada bumper *reinforcement beam*. Beberapa profil yang diteliti yaitu C profil, O profil, B1 profil dan B2 profil bumper *reinforcement beam* memiliki *volume* yang berbeda-beda. Berdasarkan densitas material *epoxy* HGM sebesar $1035,8 \text{ kg/m}^3$ didapatkan berat seperti ditunjukkan pada histogram berikut ini :



Gambar 4.2 Berat profil bumper ketebalan 4 mm



Gambar 4.3 Berat profil bumper ketebalan 6 mm



Gambar 4.4 Berat profil bumper ketebalan 8 mm

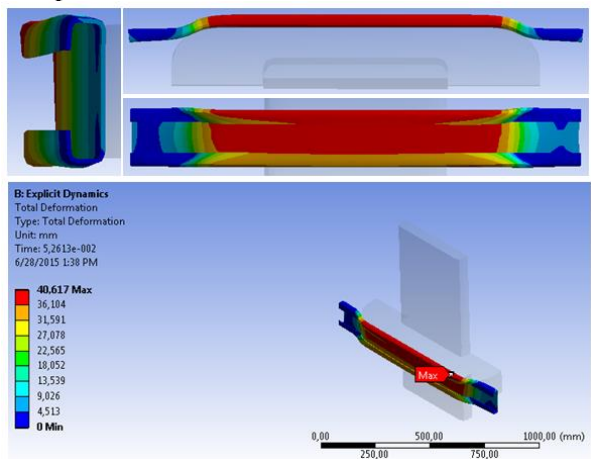
Berdasarkan gambar histogram 4.2 hingga 4.4 diatas terdapat kesamaan trend model histogram dari masing-masing ketebalannya. Semakin besar *volume* yang dimiliki akan meningkatkan nilai massa atau berat dari bumper.

Berat terkecil dimiliki oleh C profil bumper *reinforcement beam* dengan nilai pada ketebalan 4 mm, 6 mm, 8 mm secara berturut-turut sebesar 0,928 kg, 1,431 kg dan 1,960 kg. Sedangkan untuk profil bumper yang memiliki berat terbesar ialah B1 dan B2 profil bumper *reinforcement beam* dengan nilai pada ketebalan 4 mm, 6 mm, 8 mm secara berturut-turut sebesar 1,353 kg, 2,066 kg dan 2,803 kg. Untuk O profil bumper *reinforcement beam* memiliki berat diantara kedua profil tersebut, dengan nilai pada ketebalan 4 mm, 6 mm, 8 mm secara berturut-turut memiliki berat sebesar 1,218 kg, 1,866 kg dan 2,540 kg.

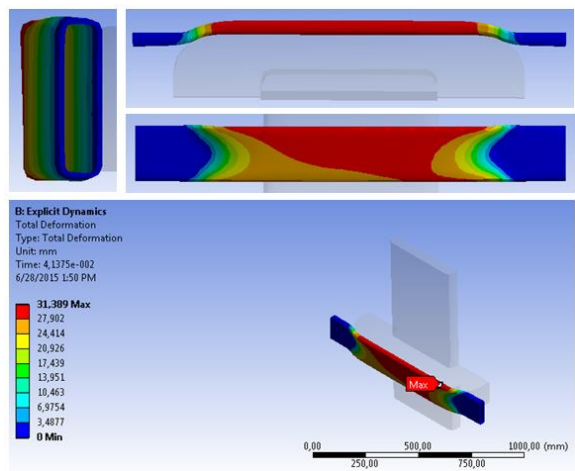
4.2.2 Deformasi Antar Profil

Simulasi pengujian dinamis dengan hasil pengujian berupa *total deformation* difokuskan pada bagian bumper *reinforcement beam*. Berikut merupakan hasil simulasi berupa deformasi yang terjadi pada masing-masing profil bumper *reinforcement beam* dengan ketebalan 4 mm, 6 mm dan 8 mm.

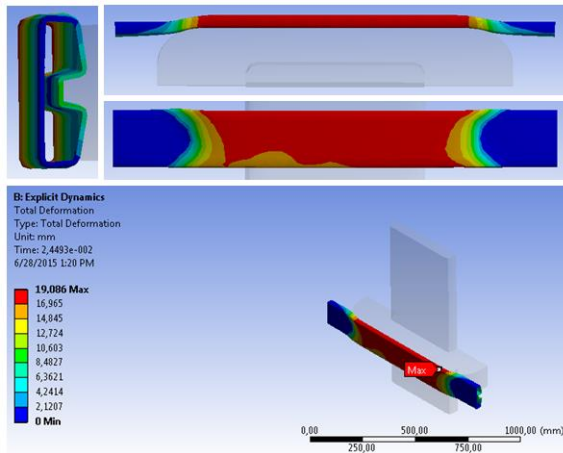
4.2.2.1 Bumper Ketebalan 4 mm



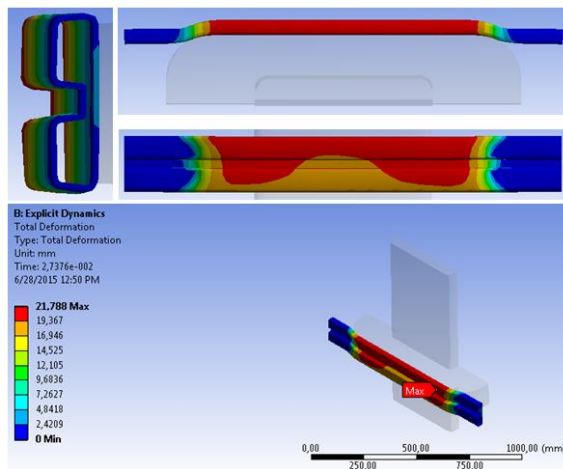
Gambar 4.5 Hasil deformasi C profil ketebalan 4 mm



Gambar 4.6 Hasil deformasi O profil ketebalan 4 mm



Gambar 4.7 Hasil deformasi B1 profil ketebalan 4 mm



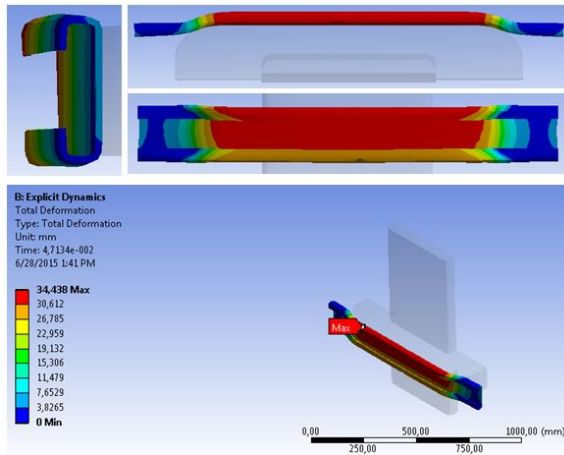
Gambar 4.8 Hasil deformasi B2 profil ketebalan 4 mm

Gambar 4.5 hingga 4.8 menunjukkan hasil simulasi berupa deformasi secara berturut-turut pada C profil, O profil, B1 profil dan B2 profil dengan ketebalan 4 mm. Dapat diketahui bahwa deformasi terjadi pada bagian bumper yang terkena

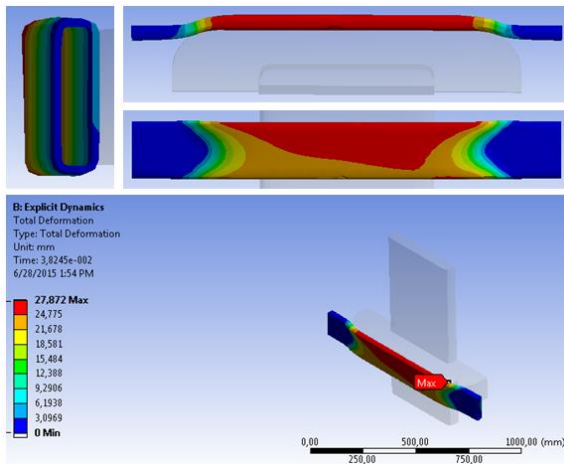
tabrakan oleh pendulum. Deformasi diakibatkan adanya tabrakan kecepatan rendah, tabrakan yang terjadi dapat diibaratkan sebuah gaya *impact* yang diberikan terhadap bumper *reinforcement beam*. Gaya tersebut mengakibatkan adanya respon material yang dimiliki oleh bumper *reinforcement beam* berupa deformasi. Deformasi maksimum ditunjukkan dengan warna merah terjadi pada daerah penampang yang terkena tabrakan oleh pendulum

Nilai deformasi terkecil dimiliki oleh B1 profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 4 mm dengan nilai sebesar 19,086 mm. Selanjutnya ialah B2 profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 4 mm dengan nilai sebesar 22,811 mm. Untuk O profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 4 mm memiliki deformasi dengan nilai sebesar 31,556 mm. Sedangkan untuk deformasi terbesar dimiliki oleh C profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 4 mm dengan nilai sebesar 40,664 mm. Pada deformasi dengan nilai seperti ditunjukkan diatas akan menimbulkan kerusakan yang dapat diamati secara visual. Apabila dilihat jarak antara bumper *reinforcement beam* dengan mesin kendaraan mobil MPV di Indonesia yaitu sebesar 90 mm, maka deformasi dikategorikan aman karena besarnya lebih rendah daripada deformasi yang diijinkan.

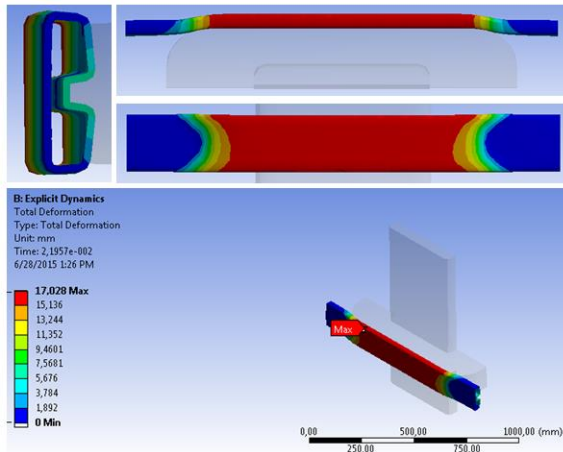
4.2.2.2 Bumper Ketebalan 6 mm



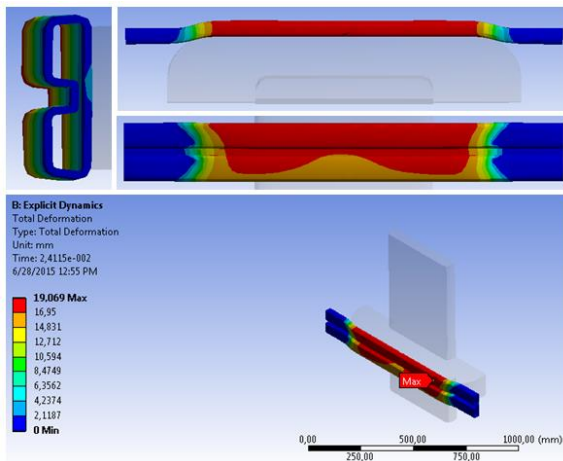
Gambar 4.9 Hasil deformasi C profil ketebalan 6 mm



Gambar 4.10 Hasil deformasi O profil ketebalan 6 mm



Gambar 4.11 Hasil deformasi B1 profil ketebalan 6 mm



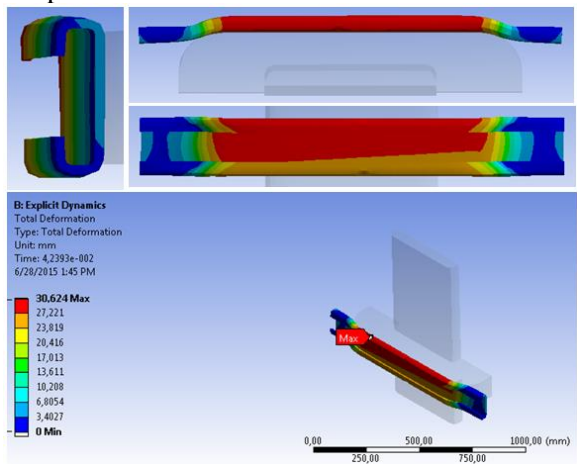
Gambar 4.12 Hasil deformasi B2 profil ketebalan 6 mm

Gambar 4.9 hingga 4.12 menunjukkan hasil simulasi berupa deformasi secara berturut-turut pada C profil, O profil, B1 profil dan B2 profil dengan ketebalan 6 mm. Dapat diketahui bahwa deformasi terjadi pada bagian bumper yang terkena

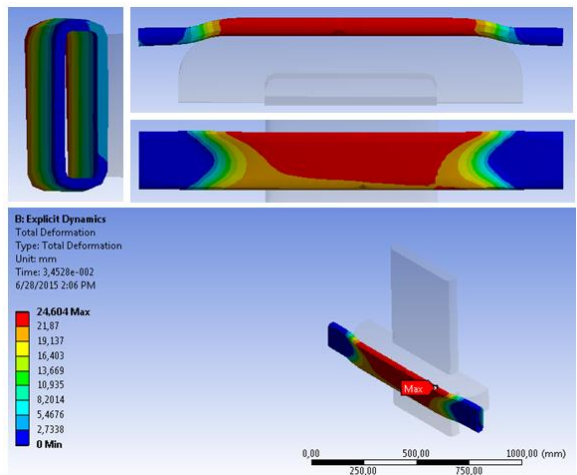
tabrakan oleh pendulum. Deformasi diakibatkan adanya tabrakan kecepatan rendah, tabrakan yang terjadi dapat diibaratkan sebuah gaya *impact* yang diberikan terhadap bumper *reinforcement beam*. Gaya tersebut mengakibatkan adanya respon material yang dimiliki oleh bumper *reinforcement beam* berupa deformasi. Deformasi maksimum ditunjukkan dengan warna merah terjadi pada daerah penampang yang terkena tabrakan oleh pendulum

Nilai deformasi terkecil dimiliki oleh B1 profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 6 mm dengan nilai sebesar 17,058 mm. Selanjutnya ialah B2 profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 6 mm dengan nilai sebesar 19,691 mm. Untuk O profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 6 mm memiliki deformasi dengan nilai sebesar 27,884 mm. Sedangkan untuk deformasi terbesar dimiliki oleh C profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 6 mm dengan nilai sebesar 34,479 mm. Pada deformasi dengan nilai seperti ditunjukkan diatas akan menimbulkan kerusakan yang dapat diamati secara visual. Apabila dilihat jarak antara bumper *reinforcement beam* dengan mesin kendaraan mobil MPV di Indonesia yaitu sebesar 90 mm, maka deformasi dikategorikan aman karena besarnya lebih rendah daripada deformasi yang diijinkan.

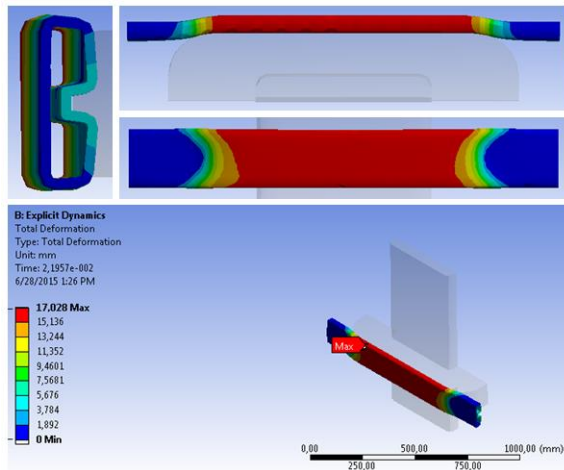
4.2.2.3 Bumper Ketebalan 8 mm



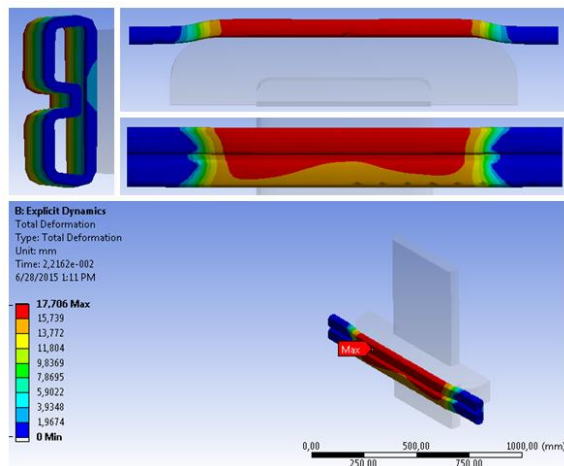
Gambar 4.13 Hasil deformasi C profil ketebalan 8 mm



Gambar 4.14 Hasil deformasi O profil ketebalan 8 mm



Gambar 4.15 Hasil deformasi B1 profil ketebalan 8 mm



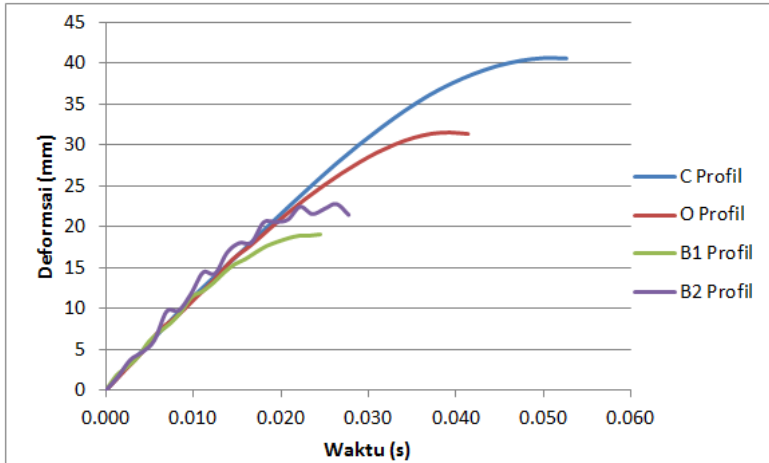
Gambar 4.16 Hasil deformasi B2 profil ketebalan 8 mm

Gambar 4.13 hingga 4.16 menunjukkan hasil simulasi berupa deformasi secara berturut-turut pada C profil, O profil, B1 profil dan B2 profil dengan ketebalan 8 mm. Dapat diketahui

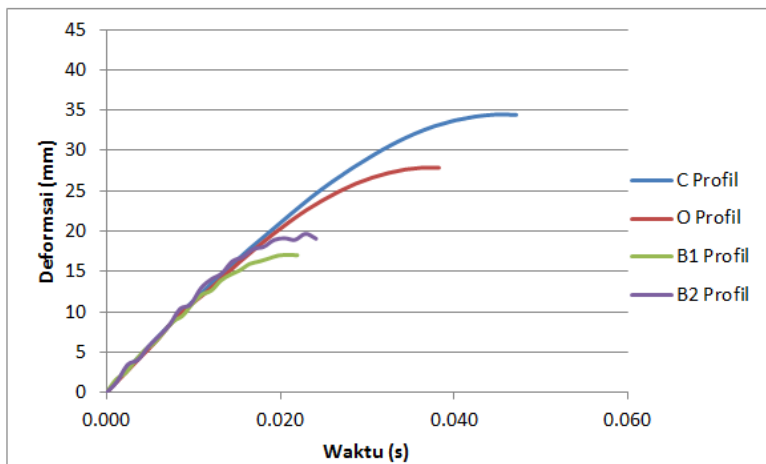
bahwa deformasi terjadi pada bagian bumper yang terkena tabrakan oleh pendulum. Deformasi diakibatkan adanya tabrakan kecepatan rendah, tabrakan yang terjadi dapat diibaratkan sebuah gaya *impact* yang diberikan terhadap bumper *reinforcement beam*. Gaya tersebut mengakibatkan adanya respon material yang dimiliki oleh bumper *reinforcement beam* berupa deformasi. Deformasi maksimum ditunjukkan dengan warna merah terjadi pada daerah penampang yang terkena tabrakan oleh pendulum

Nilai deformasi terkecil dimiliki oleh B1 profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 8 mm dengan nilai sebesar 16,047 mm. Selanjutnya ialah B2 profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 8 mm dengan nilai sebesar 18,108 mm. Untuk O profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 8 mm memiliki deformasi dengan nilai sebesar 24,604 mm. Sedangkan untuk deformasi terbesar dimiliki oleh C profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 8 mm dengan nilai sebesar 30,626 mm. Pada deformasi dengan nilai seperti ditunjukkan diatas akan menimbulkan kerusakan yang dapat diamati secara visual. Apabila dilihat jarak antara bumper *reinforcement beam* dengan mesin kendaraan mobil MPV di Indonesia yaitu sebesar 90 mm, maka deformasi dikategorikan aman karena besarnya lebih rendah daripada deformasi yang diijinkan.

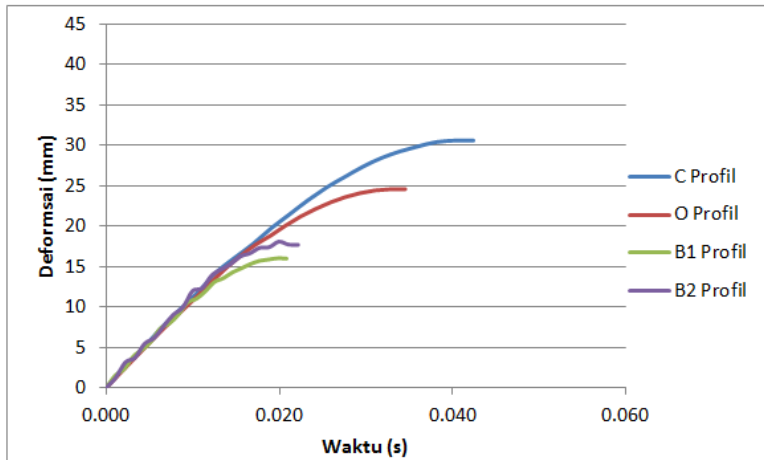
4.2.2.4 Perbandingan Deformasi Antar Profil



Gambar 4.17 Grafik deformasi bumper ketebalan 4 mm



Gambar 4.18 Grafik deformasi bumper ketebalan 6 mm



Gambar 4.19 Grafik deformasi bumper ketebalan 8 mm

Berdasarkan gambar grafik 4.17 hingga 4.19 diatas terdapat kesamaan tren model grafik dari masing-masing ketebalannya. Nilai deformasi diambil berdasarkan deformasi yang terjadi hingga kecepatan pendulum mencapai 0 m/s sehingga menyebabkan waktu acuan untuk masing-masing profilnya berbeda. Untuk B1 Profil telah mengalami deformasi maksimum dengan waktu kurang dari 0,025 detik. Sedangkan B2 Profil membutuhkan waktu kurang dari 0,028 detik, O Profil membutuhkan waktu kurang dari 0,042 detik, dan C Profil membutuhkan waktu kurang dari 0,053 detik untuk mencapai deformasi maksimum.

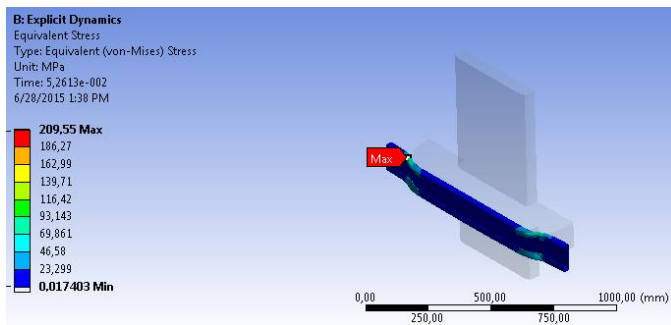
Nilai deformasi terkecil hingga deformasi terbesar berturut-turut dimiliki oleh B1 Profil, B2 Profil, O Profil dan C Profil. Pada ketebalan 4 mm B1 Profil, B2 Profil, O Profil dan C Profil memiliki nilai deformasi maksimum secara berturut-turut sebesar 19,086 mm; 22,811 mm; 31,556 mm; dan 40,664 mm. Pada ketebalan 6 mm B1 Profil, B2 Profil, O Profil dan C Profil memiliki nilai deformasi maksimum secara berturut-turut sebesar 17,058 mm; 18,108 mm; 27,884 mm; dan 34,479 mm. Pada ketebalan 8 mm B1 Profil, B2 Profil, O Profil dan C Profil

memiliki nilai deformasi maksimum secara berturut-turut sebesar 16,047 mm; 19,691 mm; 24,604 mm; dan 30,626 mm. Apabila ditinjau dari besar nilai deformasi pada masing-masing profil disetiap ketebalannya, hasil tersebut sesuai dengan teori defleksi. Ditinjau dari momen inersia, besar momen inersia luasan terbesar dimiliki oleh B profil. Pada rumusan 2.6 ditunjukkan bahwa semakin besar momen inersia luasan yang dimiliki oleh suatu balok, maka akan memperkecil nilai defleksi yang dimiliki oleh balok tersebut.

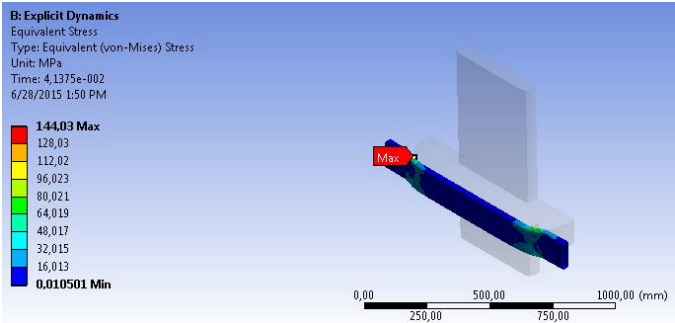
4.2.3 Tegangan Von Mises

Simulasi pengujian dinamis dengan hasil pengujian berupa *equivalent stress von-mises* difokuskan pada bagian bumper *reinforcement beam*. Berikut merupakan hasil simulasi berupa tegangan yang terjadi pada masing-masing profil bumper *reinforcement beam* dengan ketebalan 4 mm, 6 mm dan 8 mm.

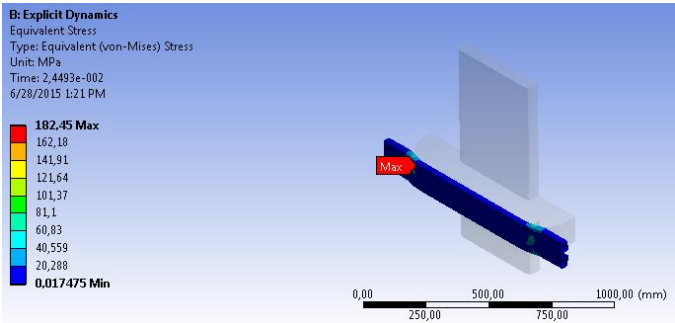
4.2.3.1 Bumper Ketebalan 4 mm



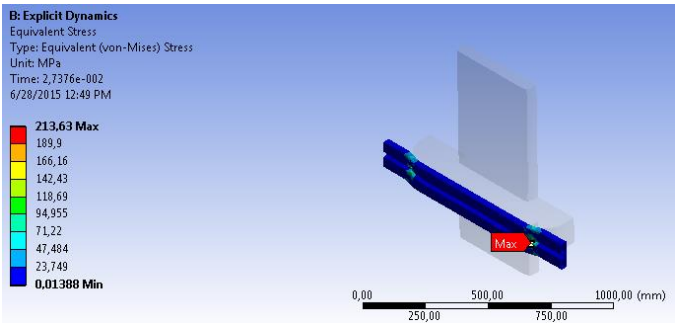
Gambar 4.20 Hasil Tegangan C profil ketebalan 4 mm



Gambar 4.21 Hasil Tegangan O profil ketebalan 4 mm



Gambar 4.22 Hasil Tegangan B1 profil ketebalan 4 mm

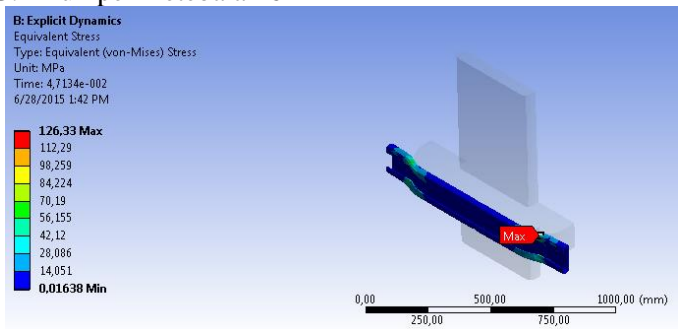


Gambar 4.23 Hasil Tegangan B2 profil ketebalan 4 mm

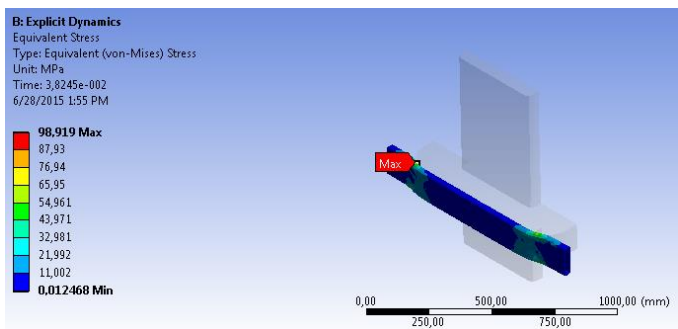
Gambar 4.19 hingga 4.22 menunjukkan hasil simulasi berupa tegangan secara berturut-turut pada bumper C profil, O profil, B1 profil dan B2 profil dengan ketebalan 4 mm. Tegangan yang diterima bumper diakibat pembebanan kejut yang diberikan oleh pendulum. Berdasarkan hasil yang ditunjukkan simulasi, tegangan terkonsentrasi pada daerah sekitar yang terkena pendulum dan mengalami perubahan bentuk. Daerah tersebut berada pada daerah sekitar tumpuan. Apabila tegangan maksimal yang didapatkan dari simulasi bernilai lebih rendah daripada tegangan ijin material, maka bumper dengan profil tersebut aman digunakan.

Nilai tegangan terkecil dimiliki oleh O profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 4 mm dengan nilai sebesar 144,660 MPa. Selanjutnya ialah B1 profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 4 mm dengan nilai sebesar 183,290 MPa. Untuk C profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 4 mm memiliki tegangan dengan nilai sebesar 209,550 MPa. Sedangkan untuk tegangan terbesar dimiliki oleh B2 profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 4 mm dengan nilai sebesar 227,220 MPa. Apabila dibandingkan dengan nilai tegangan *ultimate* yang dimiliki material komposit *epoxy* HGM yaitu sebesar 121,29 MPa, maka material tidak aman digunakan pada bumper *reinforcement beam* dengan ketebalan 4 mm di semua jenis profil

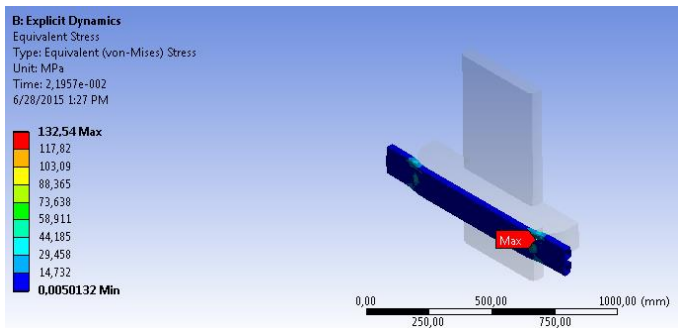
4.2.3.2 Bumper Ketebalan 6 mm



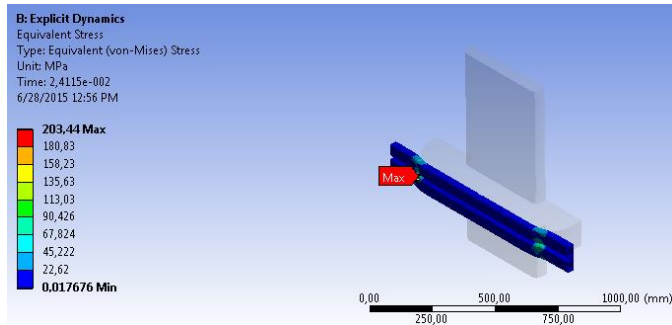
Gambar 4.24 Hasil Tegangan C profil ketebalan 6 mm



Gambar 4.25 Hasil Tegangan O profil ketebalan 6 mm



Gambar 4.26 Hasil Tegangan B1 profil ketebalan 6 mm

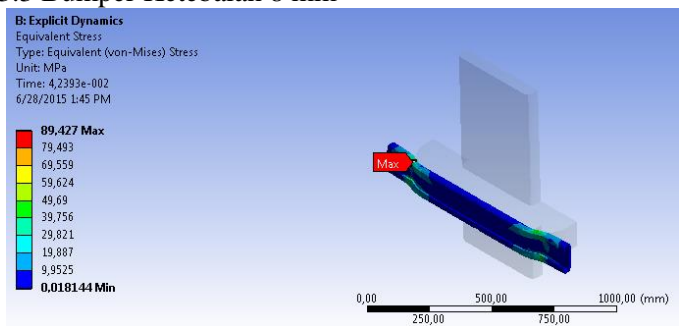


Gambar 4.27 Hasil Tegangan B2 profil ketebalan 6 mm

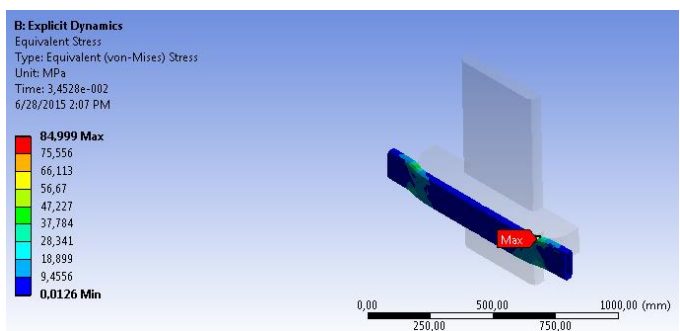
Gambar 4.23 hingga 4.26 menunjukkan hasil simulasi berupa tegangan secara berturut-turut pada bumper C profil, O Profil, B1 Profil dan B2 Profil dengan ketebalan 6 mm. Tegangan yang diterima bumper diakibat pembebanan kejut yang diberikan oleh pendulum. Berdasarkan hasil yang ditunjukkan simulasi, tegangan terkonsentrasi pada daerah sekitar yang terkena pendulum dan mengalami perubahan bentuk. Daerah tersebut berada pada daerah sekitar tumpuan. Apabila tegangan maksimal yang didapatkan dari simulasi bernilai lebih rendah daripada tegangan ijin material, maka bumper dengan profil tersebut aman digunakan.

Nilai tegangan terkecil dimiliki oleh O profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 6 mm dengan nilai sebesar 103,980 MPa. Selanjutnya ialah C profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 6 mm dengan nilai sebesar 126,330 MPa. Untuk B1 profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 6 mm memiliki tegangan dengan nilai sebesar 134,280 MPa. Sedangkan untuk tegangan terbesar dimiliki oleh B2 profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 6 mm dengan nilai sebesar 207,750 MPa. Apabila dibandingkan dengan nilai tegangan *ultimate* yang dimiliki material komposit *epoxy* HGM yaitu sebesar 121,29 Mpa, maka material tidak aman digunakan pada C profil, B1 profil dan B2 profil bumper *reinforcement beam* dengan ketebalan 6 mm

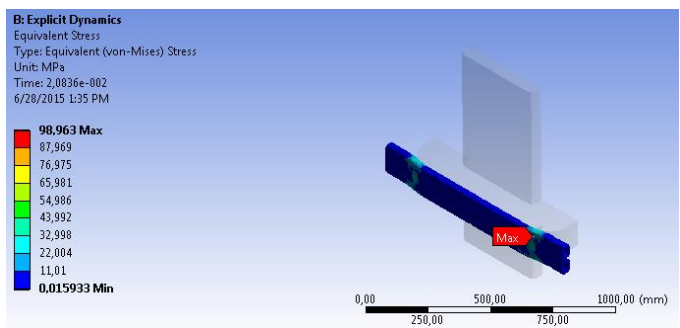
4.2.3.3 Bumper Ketebalan 8 mm



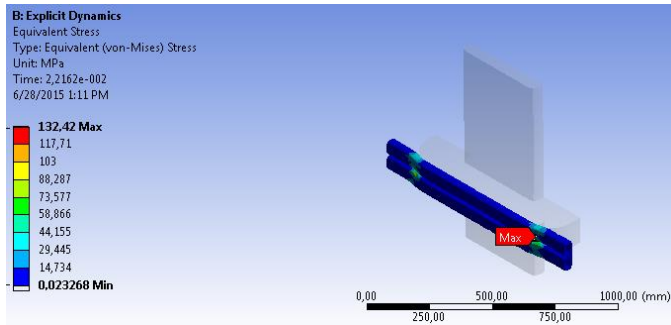
Gambar 4.28 Hasil Tegangan C profil ketebalan 8 mm



Gambar 4.29 Hasil Tegangan O profil ketebalan 8 mm



Gambar 4.30 Hasil Tegangan B1 profil ketebalan 8 mm

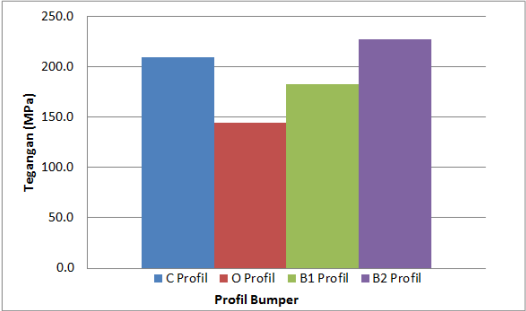


Gambar 4.31 Hasil Tegangan B2 profil ketebalan 8 mm

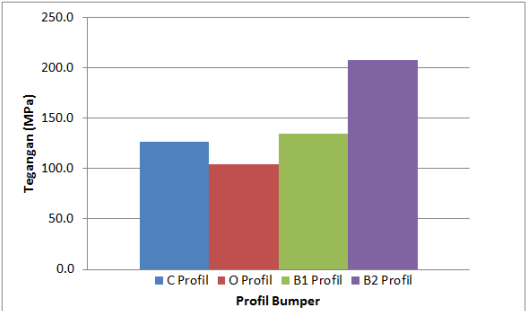
Gambar 4.27 sampai gambar 4.30 menunjukkan hasil simulasi berupa tegangan secara berturut-turut pada bumper C profil, O Profil, B1 Profil dan B2 Profil dengan ketebalan 8 mm. Tegangan yang diterima bumper diakibatkan pembebanan kejut yang diberikan oleh pendulum. Berdasarkan hasil yang ditunjukkan simulasi, tegangan terkonsentrasi pada daerah sekitar yang terkena pendulum dan mengalami perubahan bentuk. Daerah tersebut berada pada daerah sekitar tumpuan. Apabila tegangan maksimal yang didapatkan dari simulasi bernilai lebih rendah daripada tegangan ijin material, maka bumper dengan profil tersebut aman digunakan.

Nilai tegangan terendah dimiliki oleh O profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 8 mm dengan nilai sebesar 84,999 MPa. Selanjutnya ialah C profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 8 mm dengan nilai sebesar 89,427 MPa. Untuk B1 profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 8 mm memiliki tegangan dengan nilai sebesar 100,110 MPa. Sedangkan untuk tegangan terbesar dimiliki oleh B2 profil bumper *reinforcement beam* ketebalan 8 mm dengan nilai sebesar 134,040 MPa. Apabila dibandingkan dengan nilai tegangan *ultimate* yang dimiliki material komposit *epoxy HGM* yaitu sebesar 121,29 MPa maka material tidak aman digunakan pada B2 profil bumper *reinforcement beam* dengan ketebalan 8 mm.

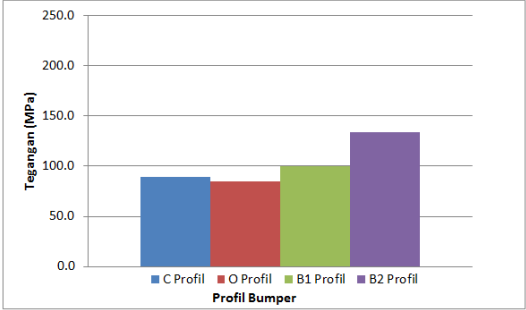
4.2.3.4 Tegangan Von Mises Antar Profil



Gambar 4.32 Tegangan antar profil ketebalan 4 mm



Gambar 4.33 Tegangan antar profil ketebalan 6 mm



Gambar 4.34 Tegangan antar profil ketebalan 8 mm

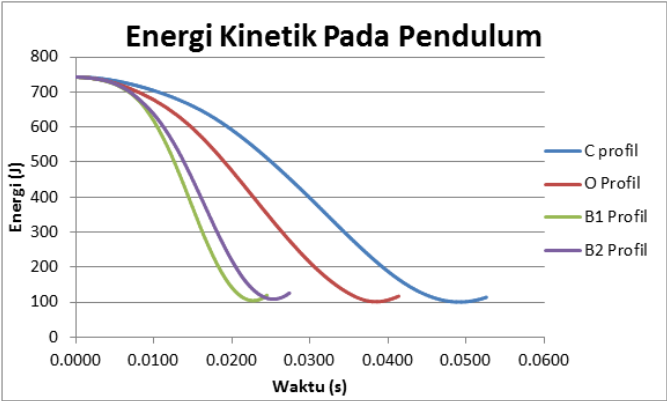
Berdasarkan gambar histogram 4.32 hingga 4.34 diatas terdapat kesamaan tren model histogram pada ketebalan 6 mm dan 8 mm. Nilai tegangan terkecil hingga tegangan terbesar berturut-turut dimiliki oleh O Profil, C Profil, B1 Profil dan B2 Profil. Sedangkan pada ketebalan 4 mm tegangan terkecil hingga tegangan terbesar berturut-turut dimiliki oleh O Profil, B1 Profil, C Profil dan B2 Profil. Nilai tegangan diatas diambil berdasarkan tegangan maksimum yang diterima bumper hingga kecepatan pendulum sebesar 0 m/s.

Perbedaan tegangan antar profil disebabkan adanya perbedaan bentuk yang dimiliki oleh masing-masing profil. Untuk B profil memiliki tegangan yang lebih tinggi karena sudut yang dimiliki oleh profil tersebut lebih banyak dibandingkan profil lainnya. Selain itu dalam persebaran tegangan juga mempengaruhi, seperti halnya antara C profil dengan O profil yang mengalami perbedaan tegangan yang didapat.

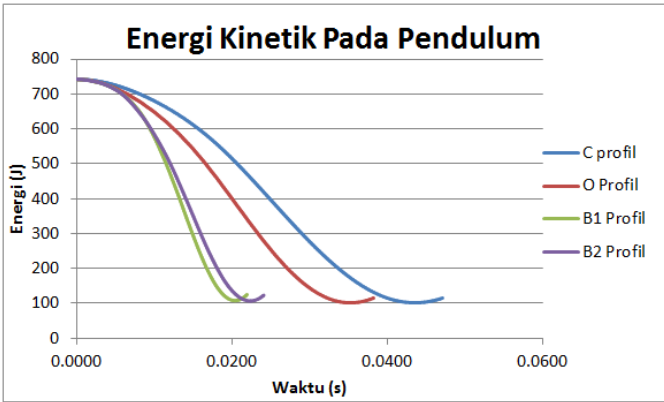
4.2.4 Energi Kinetik dan Energi Internal

Simulasi pengujian dinamis dengan hasil pengujian berupa energi kinetik dan energi internal difokuskan pada bagian pendulum dan bumper *reinforcement beam*. Berikut merupakan hasil simulasi energi kinetik dan energi internal yang terjadi pada masing-masing profil bumper *reinforcement beam* dengan ketebalan 4 mm, 6 mm dan 8 mm.

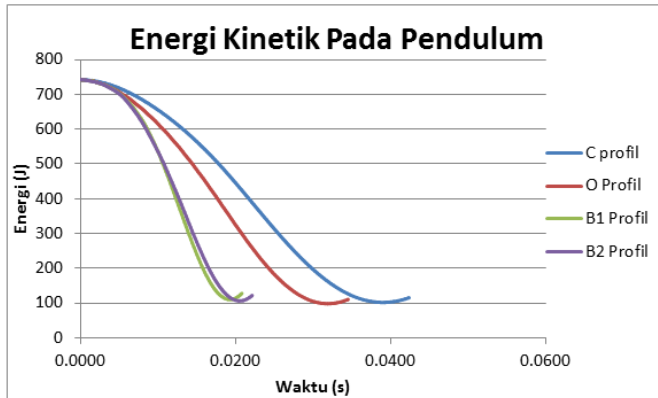
4.2.4.1 Energi Kinetik Pendulum



Gambar 4.35 Grafik energi kinetik pendulum ketebalan 4 mm

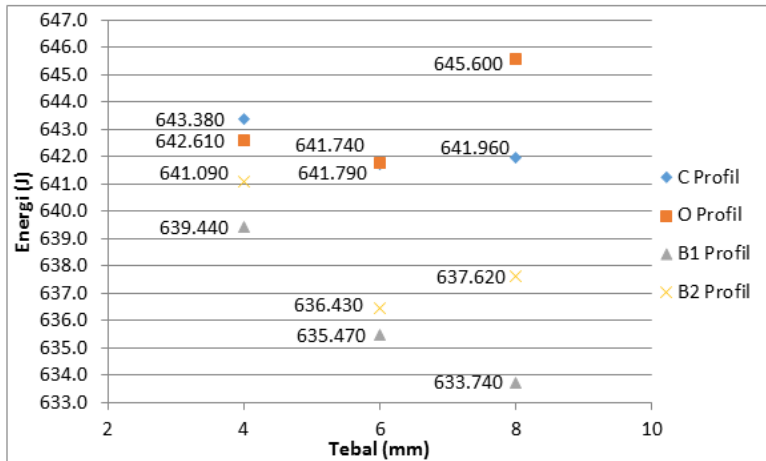


Gambar 4.36 Grafik energi kinetik pendulum ketebalan 6 mm



Gambar 4.37 Grafik energi kinetik pendulum ketebalan 8 mm

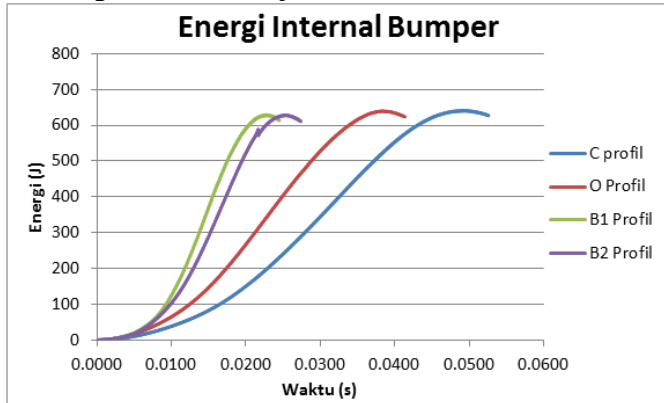
Sesuai standard ECE R42, pendulum memiliki massa dan kecepatan sebesar 1,11 m/s. Berdasarkan hal tersebut pendulum memiliki energi kinetik sebesar 743,490 J. Saat terjadinya tabrakan, energi kinetik pendulum dipindahkan ke bumper sehingga mengalami penurunan energi kinetik yang dimiliki pendulum. Berdasarkan gambar grafik 4.35 hingga 4.37 diatas terdapat kesamaan tren model grafik dari masing-masing ketebalannya. Energi kinetik pendulum mengalami penurunan energi dengan waktu terlambat hingga tercepat berturut-turut dimiliki oleh C Profil, O Profil, B1 Profil dan B2 Profil. Sedangkan untuk B1 Profil dan B2 Profil dapat dilihat bahwa dalam penurunan energi kinetik membutuhkan waktu yang hampir sama. Selain itu ditunjukkan bahwa energi kinetik pendulum memiliki maksimum dan minimum, sehingga besar energi yang diberikan ke bumper akan berbeda. Besar energi kinetik yang diberikan ke bumper akan ditunjukkan pada *scatter* dibawah ini.



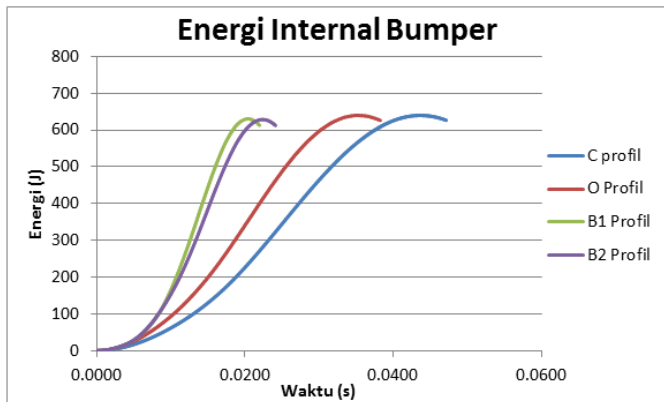
Gambar 4.38 Besar energi yang diberikan pendulum di masing-masing profil dan ketebalan

Bedasarkan gambar *scatter* 4.38 diatas ditunjukkan bahwa energi pendulum yang diberikan ke bumper pada ketebalan 4 mm dari terbesar hingga terkecil secara berturut-turut dimiliki oleh C profil, O profil, B2 profil, B1 profil. Pada ketebalan 6 mm energi terbesar hingga terkecil secara berturut-turut dimiliki oleh O profil, C profil, B2 profil, B1 profil. Sedangkan pada ketebalan 8 mm energi terbesar hingga terkecil secara berturut-turut dimiliki oleh O profil, C profil, B2 profil, B1 profil.

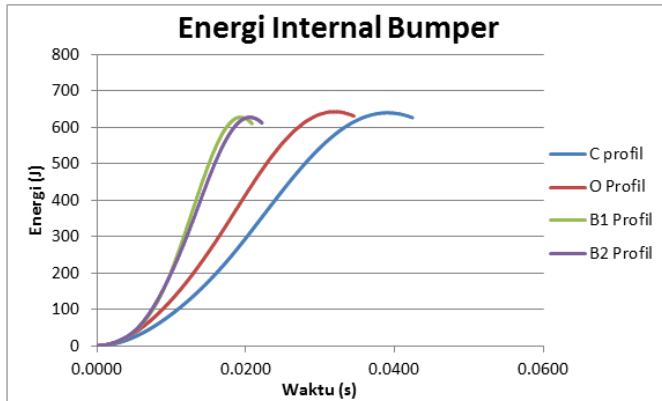
4.2.4.2 Energi Internal Bumper



Gambar 4.39 Grafik energi internal bumper ketebalan 4 mm

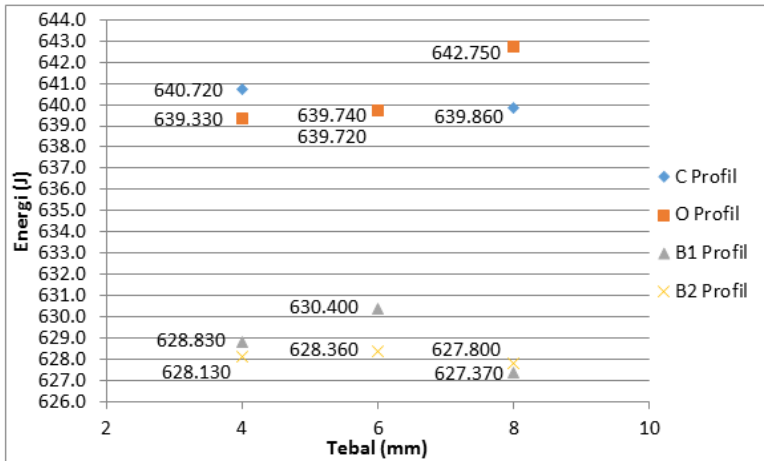


Gambar 4.40 Grafik energi internal bumper ketebalan 6 mm



Gambar 4.41 Grafik energi internal bumper ketebalan 8 mm

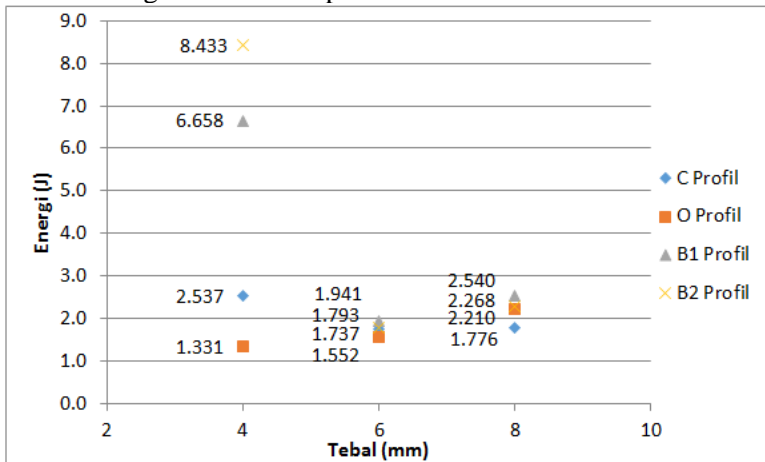
Energi internal bumper diakibatkan adanya energi kinetik pendulum yang menabrak bumper. Berdasarkan gambar grafik 4.39 hingga 4.41 diatas memiliki tren grafik berbanding terbalik dibandingkan dengan grafik yang dimiliki oleh energi kinetik pendulum. Sedangkan untuk energi internal di setiap ketebalannya pada masing-masing profil terdapat kesamaan tren model grafik. Energi internal bumper mengalami kenaikan dengan waktu terlambat hingga tercepat berturut-turut dimiliki oleh C Profil, O Profil, B1 Profil dan B2 Profil. Untuk B1 Profil dan B2 Profil dapat dilihat bahwa dalam penurunan energi kinetik membutuhkan waktu yang hampir sama Selain itu ditunjukkan bahwa energi internal bumper memiliki maksimum dan minimum, sehingga besar energi internal bumper dari masing-masing profil di setiap ketebalan akan berbeda. Besar energi internal yang dimiliki bumper akan ditunjukkan pada *scatter* dibawah ini.



Gambar 4.42 Besar energi internal bumper di masing-masing profil dan ketebalan

Berdasarkan gambar *scatter* 4.42 diatas ditunjukkan bahwa energi internal bumper pada ketebalan 4 mm dari terbesar hingga terkecil secara berturut-turut dimiliki oleh C profil, O profil, B1 profil, B2 profil. Pada ketebalan 6 mm energi terbesar hingga terkecil secara berturut-turut dimiliki oleh C profil, O profil, B1 profil, B2 profil. Sedangkan pada ketebalan 8 mm energi terbesar hingga terkecil secara berturut-turut dimiliki oleh O profil, C profil, B1 profil, B2 profil.

4.2.4.3 Energi Kinetik Bumper



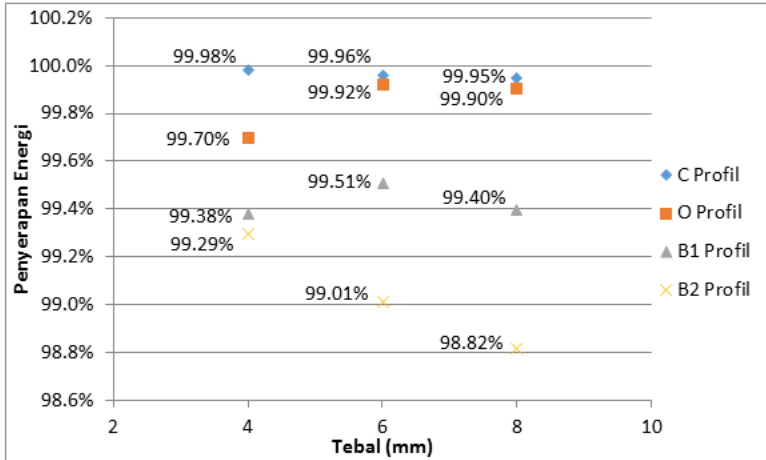
Gambar 4.43 Besar energi kinetik bumper di masing-masing profil dan ketebalan

Berdasarkan gambar *scatter* 4.43 diatas ditunjukkan bahwa energi internal bumper pada ketebalan 4 mm dari terbesar hingga terkecil secara berturut-turut dimiliki oleh B2 profil, B1 profil, C profil, O profil. Pada ketebalan 6 mm energi terbesar hingga terkecil secara berturut-turut dimiliki oleh B2 profil, B1 profil, C profil, O profil. Sedangkan pada ketebalan 8 mm energi terbesar hingga terkecil secara berturut-turut dimiliki oleh B2 profil, B1 profil, C profil, O profil

4.2.4.4 Penyerapan Energi

Pada tabrakan kecepatan rendah yang dialami oleh bumper *reinforcement beam* terjadi tumbukan lenting sebagian, sehingga apabila ditinjau dari hukum kekekalan energi, terdapat energi yang hilang. Apabila dibandingkan antara energi yang dimiliki bumper (energi kinetik + energi internal) dengan energi kinetik pendulum, maka akan diketahui besarnya prosentase

energi yang diserap bumper. Berikut merupakan *scatter* prosentase masing-masing bumper pada setiap ketebalannya.



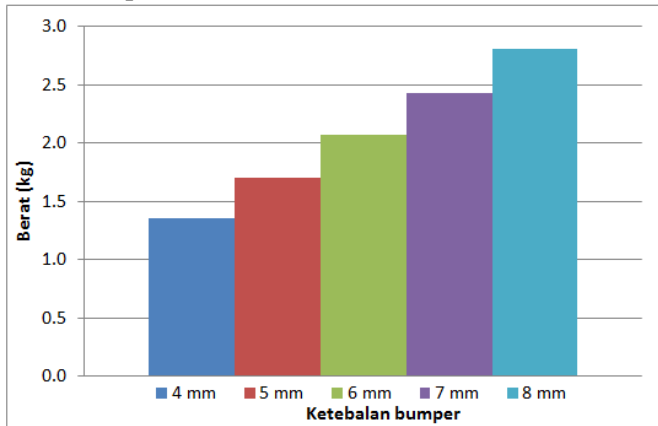
Gambar 4.44 Besar penyerapan energi di masing-masing profil dan ketebalan

Berdasarkan gambar *scatter* 4.43 diatas ditunjukkan prosentase penyerapan energi pada profil di masing-masing ketebalannya. Apabila dilihat dari prosentase yang diperoleh, dapat diketahui terdapat energi yang hilang kurang dari 1,3%. Energi tersebut dapat berupa energi akibat gesek, panas atau lain yang belum bisa diketahui dari proses simulasi. Prosentase penyerapan energi bumper pada ketebalan 4 mm dari terbesar hingga terkecil secara berturut-turut dimiliki oleh C profil, B1 profil, C profil, O profil. Pada ketebalan 6 mm energi terbesar hingga terkecil secara berturut-turut dimiliki oleh C profil, O profil, B1 profil, B2 profil. Sedangkan pada ketebalan 8 mm energi terbesar hingga terkecil secara berturut-turut dimiliki oleh C profil, O profil, B1 profil, B2 profil

4.3 Pengaruh Ketebalan

Pada sub bab ini akan dilakukan pembahasan mengenai pengaruh ketebalan 4 mm hingga 8 mm pada B1 profil bumper *reinforcement beam*.

4.3.1 Berat B1 profil

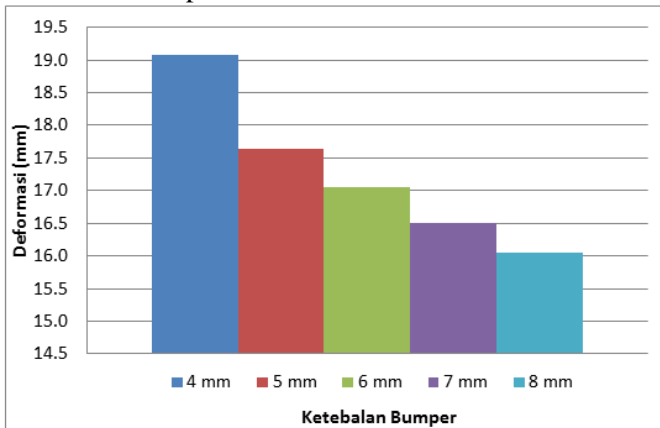


Gambar 4.45 Berat B1 profil masing-masing ketebalan

Bedasarkan histogram diatas dapat diketahui bahwa semakin meningkatnya ketebalan, maka volume yang dimiliki bumper reinforcement beam akan bertambah, sehingga akan meningkatkan massa yang dimiliki bumper tersebut.

Berat terkecil dimiliki oleh B1 profil bumper reinforcement beam ketebalan 4 mm dengan berat sebesar 1,353 kg. Sedangkan untuk berat terbesar dimiliki oleh B1 profil ketebalan 8 mm dengan berat sebesar 2,803 kg. Selain itu, bumper dengan ketebalan 5 mm memiliki berat 1,706 kg, bumper 6 mm memiliki berat 2,066 kg dan bumper 7 mm memiliki berat sebesar 2,431 kg. Apabila dibandingkan dengan bumper yang ada pada saat ini dengan berat sebesar 6,806 kg, maka secara berturut-turut dari ketebalan 4 mm hingga 8 mm mampu menurunkan berat sebesar 80,13% ; 74,93% ; 69,65 % ; 64,28 % dan 58,82%.

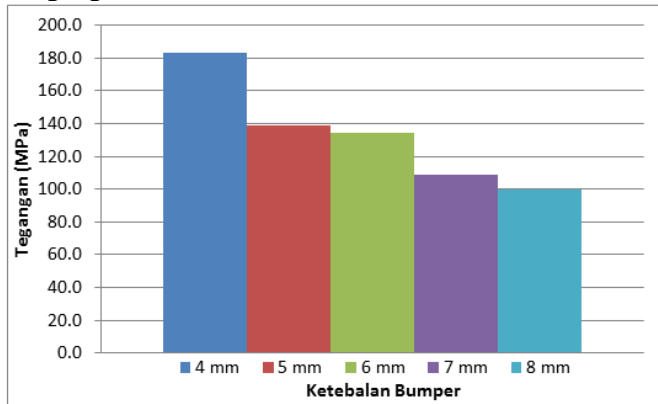
4.3.2 Deformasi B1 profil



Gambar 4.46 Deformasi B1 profil masing-masing ketebalan

Berdasarkan histogram diatas dapat diketahui bahwa semakin meningkatnya ketebalan, maka deformasi yang dialami oleh bumper akan semakin menurun. Deformasi terendah dimiliki oleh B1 profil bumper *reinforcement beam* 8 mm dengan deformasi sebesar 16,047 mm. Sedangkan untuk deformasi terbesar dimiliki oleh B1 profil ketebalan 4 mm dengan deformasi sebesar 19,086 mm. Selain itu, bumper dengan ketebalan 5 mm memiliki deformasi sebesar 17,648 mm, bumper 6 mm memiliki deformasi 17,058 mm dan bumper 7 mm memiliki deformasi 16,505 mm. Apabila dilihat jarak antara bumper *reinforcement beam* dengan mesin kendaraan mobil MPV di Indonesia yaitu sebesar 90 mm, maka deformasi dikategorikan aman karena besarnya lebih rendah daripada deformasi yang diijinkan.

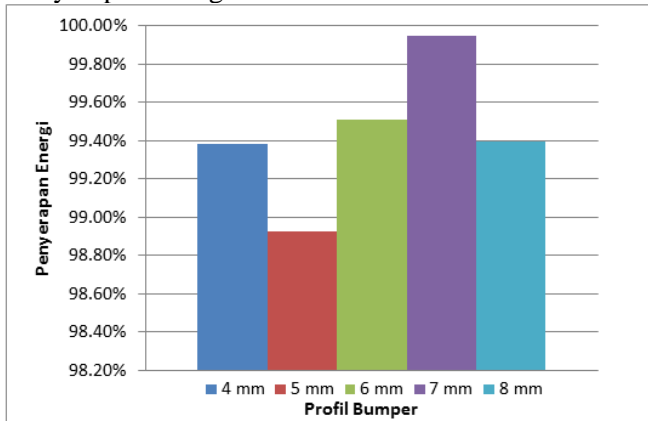
4.3.3 Tegangan Von Mises B1 Profil



Gambar 4.47 Tegangan B1 profil masing-masing ketebalan

Berdasarkan histogram diatas dapat diketahui bahwa semakin meningkatnya ketebalan, maka tegangan yang diterima oleh bumper akan semakin menurun. tegangan terendah dimiliki oleh B1 profil bumper *reinforcement beam* 8 mm dengan tegangan sebesar 100,110 MPa. Sedangkan untuk tegangan terbesar dimiliki oleh B1 profil ketebalan 4 mm dengan tegangan sebesar 183,290 MPa. Selain itu, bumper dengan ketebalan 5 mm memiliki tegangan sebesar 139,140 MPa, bumper 6 mm memiliki tegangan 134,280 MPa dan bumper 7 mm memiliki tegangan 109,080 MPa. Apabila tegangan maksimal yang didapatkan dari simulasi bernilai lebih rendah maka material aman digunakan. Nilai tegangan maksimum yang dimiliki material komposit epoxy HGM yaitu sebesar 121,29 MPa, maka bumper dengan ketebalan 4 mm, 5 mm dan 6 mm tidak aman digunakan. Sedangkan untuk ketebalan 7 mm dan 8 mm masih dibawah tegangan maksimum yang ada, sehingga dapat digunakan sebagai material bumper pada B1 profil.

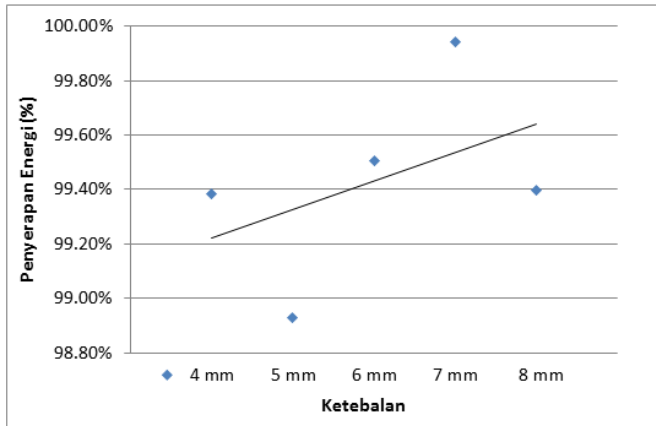
4.3.4 Penyerapan Energi B1 Profil



Gambar 4.48 Penyerapan energi B1 profil masing-masing ketebalan

Bedasarkan histogram diatas dapat diketahui besarnya penyerapan energi oleh bumper B1 profil pada setiap ketebalannya. Nilai tersebut didapatkan dari energi yang dimiliki bumper (energi kinetik + energi internal) dibandingkan dengan energi kinetik pendulum. Bumper dengan ketebalan 4 mm hingga 8 mm dapat menyerap energi secara berturut-turut sebesar 99,38%; 98,93%; 99,51%; 99,94%; dan 99,40%.

Apabila dilihat dari bentuk grafik yang naik turun, belum bisa disimpulkan seiring bertambahnya ketebalan, penyerapan energi yang ada semakin tinggi atau semakin rendah. Apabila ditinjau berdasarkan rumus energi internal, volume sebanding dengan energi. Sehingga dapat dikatakan bertambahnya ketebalan, akan membuat penyerapan energi semakin besar. Apabila grafik tersebut diberikan trendline, maka akan menunjukkan kecenderungan seiring bertambahnya ketebalan, maka penyerapan energi akan semakin meningkat, sesuai dengan teori yang ada. Berikut merupakan trendline dari grafik penyerapan energi pada bumper di masing-masing ketebalan.

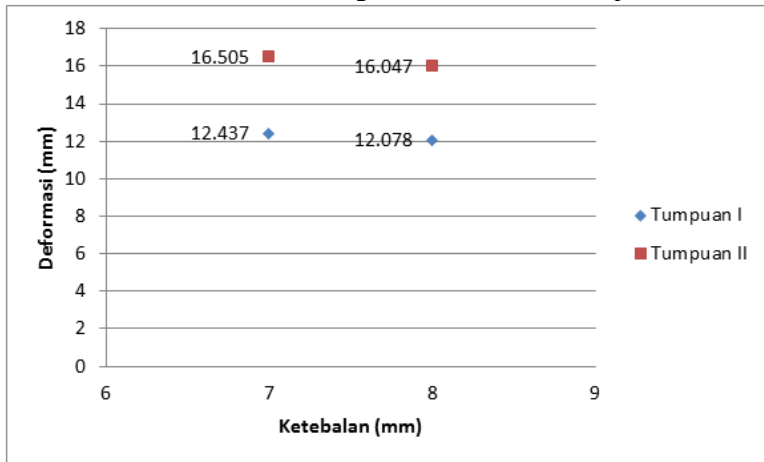


Gambar 4.49 Trendline penyerapan energi B1 profil masing-masing ketebalan

4.4 Pengaruh Jarak Tumpuan

Pada sub bab ini akan dilakukan pembahasan mengenai pengaruh tumpuan pada B1 profil bumper *reinforcement beam* ditinjau berdasarkan panjang jarak antar tumpuan, untuk tumpuan pertama (I) memiliki panjang 606 mm dengan jarak 47 mm dari ujung. Kemudian untuk tumpuan kedua (II) memiliki panjang 660 mm dengan jarak 20 mm dari ujung. Model tumpuan yang diambil berdasarkan referensi bumper yang ada pada mobil MPV di Indonesia saat ini

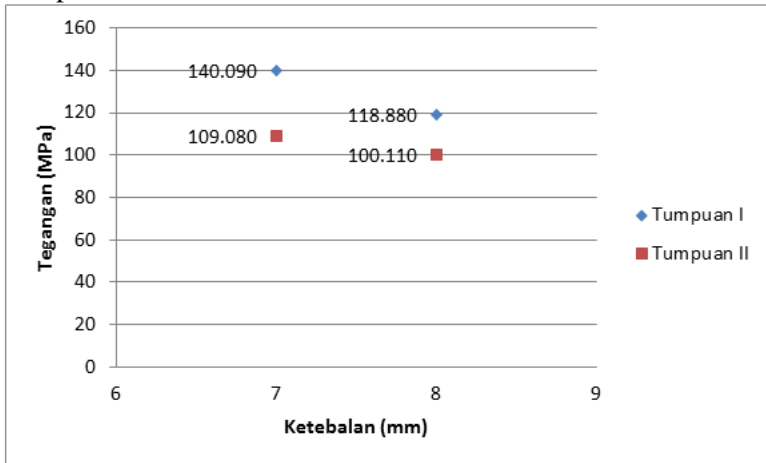
4.4.1 Deformasi B1 Profil Pengaruh Perbedaan Tumpuan



Gambar 4.50 Pengaruh jarak tumpuan terhadap deformasi B1 profil ketebalan 7 mm dan 8 mm

Bedasarkan gambar *scatter* diatas dapat diketahui nilai deformasi yang dimiliki pada bumper tumpuan I dengan ketebalan 7 mm dan 8 mm ialah sebesar 12,437 mm dan 12,078 mm. Bumper tumpuan II dengan ketebalan 7 mm dan 8 mm memiliki deformasi sebesar 16,505 mm dan 16,047 mm. Berdasarkan hal tersebut menunjukkan bahwa bumper yang diberikan tumpuan I memiliki nilai deformasi lebih kecil dibanding dengan bumper dengan tumpuan II. Hal ini dikarenakan tumpuan I memiliki jarak antar tumpuan yang lebih pendek dibandingkan tumpuan II. Sesuai dengan teori defleksi yang ditunjukkan pada rumus nomor 2.6 bahwa panjang tumpuan berbanding lurus dengan besar defleksi yang terjadi. Apabila jarak antar tumpuan lebih panjang, maka defleksi akan semakin besar.

4.4.2 Tegangan Von Mises B1 Profil Pengaruh Perbedaan Tumpuan

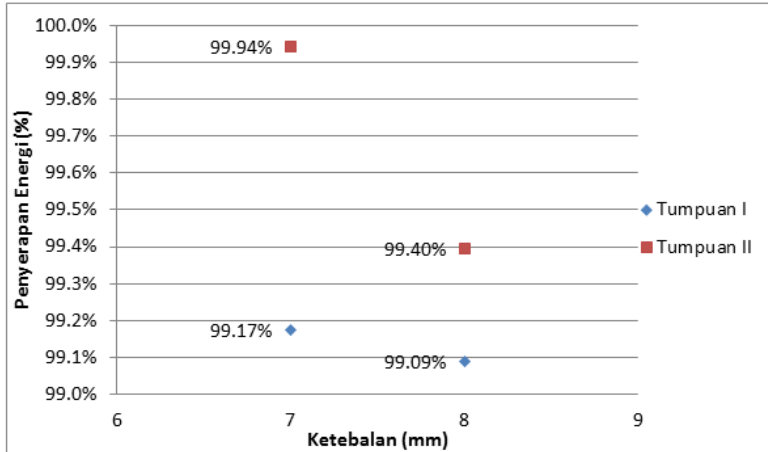


Gambar 4.51 Pengaruh jarak tumpuan terhadap tegangan von mises B1 profil ketebalan 7 mm dan 8 mm

Bedasarkan gambar *scatter* diatas dapat diketahui nilai tegangan von mises yang dimiliki pada bumper tumpuan I dengan ketebalan 7 mm dan 8 mm ialah sebesar 140,090 Mpa dan 118,880 MPa. Bumper tumpuan II dengan ketebalan 7 mm dan 8 mm memiliki tegangan von mises sebesar 109,080 MPa dan 100,110 MPa. Berdasarkan hal tersebut menunjukkan bahwa bumper yang diberikan tumpuan I memiliki nilai tegangan lebih tinggi dibanding dengan bumper dengan tumpuan II. Hal ini dikarenakan tumpuan I memiliki jarak antar tumpuan yang lebih pendek dibandingkan tumpuan II. Apabila dikaitkan dengan satuan yang dimiliki oleh tegangan yaitu N/m, jarak berbanding terbalik dengan tegangan yang diperoleh. Jika jarak antar tumpuan semakin kecil, maka tegangan yang diperoleh akan semakin tinggi. Selain itu beban yang ada akan semakin terpusat, sehingga menyebabkan tegangan terkonsentrasi pada suatu lokasi. Dengan meninjau tegangan maksimum yang dimiliki material

komposit *epoxy* HGM yaitu sebesar 121,29 MPa, maka bumper dengan ketebalan 7 mm pada tumpuan I tidak aman untuk digunakan.

4.4.3 Penyerapan Energi B1 Profil Pengaruh Perbedaan Tumpuan

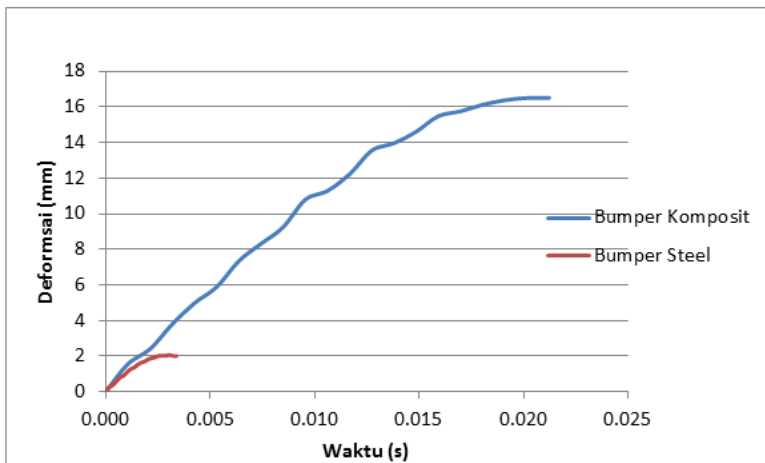


Gambar 4.52 Pengaruh jarak tumpuan terhadap penyerapan energi B1 profil ketebalan 7 mm dan 8 mm

Bedasarkan gambar *scatter* diatas dapat diketahui nilai penyerapan energi yang dimiliki bumper dengan tumpuan I dan tumpuan II. Nilai tersebut didapatkan dari energi yang dimiliki bumper (energi kinetik + energi internal) dibandingkan dengan energi kinetik pendulum. Nilai penyerapan energi pada tumpuan I dengan ketebalan 7 mm dan 8 mm ialah sebesar 99,17% dan 99,09%. Bumper tumpuan II dengan ketebalan 7 mm dan 8 mm memiliki nilai penyerapan energi sebesar 99,44% dan 99,40%. Berdasarkan hal tersebut menunjukkan bahwa bumper yang diberikan tumpuan I memiliki nilai penyerapan energi lebih rendah dibanding dengan bumper dengan tumpuan II.

4.5 Perbandingan Bumper *Steel* saat ini dengan B1 Profil Komposit *Epoxy* HGM

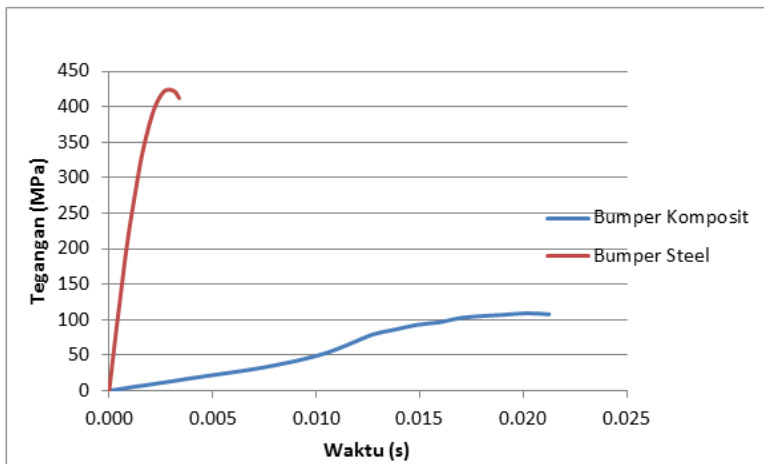
Bumper steel yang digunakan sebagai pembanding ialah bumper dengan O profil sesuai dengan bumper yang ada pada saat ini. Ketebalan yang dimiliki bumper tersebut sebesar 3 mm dengan jarak antar tumpuan sebesar 660 mm. Berdasarkan berat yang dimiliki oleh bumper dengan material steel sebesar 6,806 kg, apabila dibandingkan dengan B1 profil material komposit *epoxy* HGM ketebalan 7 mm dengan berat sebesar 2,431 kg, maka bumper dengan aplikasi material komposit *epoxy* HGM mampu menurunkan berat sebesar 64,28 %. Selain itu apabila dibandingkan berdasarkan deformasi dan tegangan yang dialami oleh bumper akan ditunjukkan pada gambar grafik dibawah ini



Gambar 4.53 Grafik perbandingan deformasi bumper material komposit dengan steel

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa nilai deformasi untuk material steel lebih rendah jika dibandingkan dengan material komposit *epoxy* HGM. Material steel dengan ketebalan 3 mm memiliki nilai deformasi maksimal sebesar 2,066 mm. Untuk

material komposit *epoxy* HGM dengan ketebalan 7 mm, memiliki nilai deformasi maksimal sebesar 16,505 mm. Hal ini sesuai dengan teori, apabila nilai modulus young suatu material lebih tinggi maka nilai deformasinya akan rendah dan sebaliknya, apabila nilai modulus young material rendah, maka nilai deformasi tinggi. Nilai modulus young menunjukkan nilai kekakuan material. Semakin tinggi nilai kekakuan, maka akan mengalami deformasi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan material yang memiliki kekakuan rendah.



Gambar 4.54 Grafik perbandingan tegangan bumper material komposit dengan steel

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa nilai tegangan untuk material steel lebih tinggi jika dibandingkan dengan material komposit *epoxy* HGM. Material steel dengan ketebalan 3 mm memiliki nilai tegangan maksimal sebesar 424,182 mm. Apabila ditinjau dari tagangan maksimum yang dimiliki oleh material yaitu sebesar 460 Mpa, maka material steel aman digunakan. Untuk material komposit *epoxy* HGM dengan ketebalan 7 mm, memiliki nilai tegangan maksimal sebesar

109,080 MPa Hal ini sesuai dengan teori, apabila nilai modulus young suatu material lebih tinggi maka nilai tegangannya akan tinggi dan sebaliknya, apabila nilai modulus young material rendah, maka nilai tegangan juga rendah. Nilai modulus young menunjukkan nilai kekakuan material. Semakin tinggi nilai kekakuan, maka akan mengalami deformasi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan material yang memiliki kekakuan rendah. Selain itu, apabila ditinjau dari waktu *impact* yang terjadi untuk steel lebih singkat jika dibandingkan dengan komposit *epoxy* HGM, waktu yang singkat akan mengakibatkan luas area untuk menerima beban lebih kecil, sehingga mengakibatkan adanya peningkatan tegangan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisa variasi profil bumper *reinforcement beam* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil deformasi yang diperoleh, nilai deformasi terkecil hingga terbesar secara berturut-turut dimiliki oleh B1 Profil, B2 Profil, O Profil dan C Profil.
2. Berdasarkan hasil tegangan yang diperoleh pada ketebalan 4 mm, 6 mm dan 8 mm, tegangan yang berada dibawah tegangan ijin material ialah O profil ketebalan 6 mm dan C profil, O profil, B1 profil dketebalan 8 mm.
3. Kemampuan menyerap energi bumper ketebalan 4 mm, 6 mm dan 8 mm pada masing-masing profil bumper memiliki prosentase nilai diatas 98,5 %.
4. Berdasarkan hasil tegangan yang diperoleh B1 profil bumper didapatkan hasil untuk ketebalan 4 mm, 5 mm dan 6 mm tidak aman untuk digunakan, sedangkan untuk ketebalan 7 mm dan 8 mm aman digunakan dengan nilai tegangan sebesar 109,080 MPa dan 100,110 MPa. Hasil deformasi yang didapat pada ketebalan 7 mm dan 8 mm ialah sebesar 16,505 mm dan 16,047 mm. Sedangkan besar prosentase penyerapan energi pada ketebalan 7 mm dan 8 mm ialah sebesar 99,94 % dan 99,40 %
5. Penentuan jarak antar tumpuan pada bumper mempengaruhi nilai deformasi, tegangan dan penyerapan energi yang diperoleh. Semakin jauh jarak antar tumpuan, maka nilai deformasi yang didapat akan semakin meningkat, nilai tegangan semakin menurun, energi yang diserap akan semakin besar, dan begitupula sebaliknya.
6. Bumper B1 profil material komposit *epoxy* HGM pada ketebalan 7 mm mampu menurunkan berat sebesar 64,28 % apabila dibandingkan dengan bumper material steel yang ada pada saat ini

5.2 Saran

Adapun saran yang penulis berikan pada penelitian ini adalah :

1. Dilakukan pengujian eksperimen sebagai pembanding hasil simulasi.
2. Dilakukan analisa terhadap sistem bumper secara lengkap, agar bisa mendapatkan hasil optimum sebagai alat pelindung kendaraan dalam masalah tabrakan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sutikno, Fahmi Yuni. 2013. "*Pengaruh Variasi Fraksi Volume dan Temperatur Curing Terhadap Karakteristik Tekan Komposit Parikel Epoxy-Hollow Glass*". Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
2. Wahyu W, Widiensyah. 2013. "*Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur Curing dan Post Curing Terhadap Karakteristik Tekan Komposit*". Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
3. Sutikno, Hindun Amalia. 2014. "*Pengaruh Komposit Epoxy HGM Pada Bumper Depan Kendaraan Untuk Mereduksi Energi Impact*". Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
4. Tsai, S.W., Sung H. and Miyano, Y. 2008. "*Strength and Life of Composites*". JEC Composites, Hong Kong.
5. Association of British Insurers. 2002. "*Annual Report 2002*". London, UK.
6. Heru Purnomo, Djoeli Satrijo. 2011. "*Desain dan Analisa Impact pada Struktur Bumper Belakang Kendaraan SUV dengan Metode Elemen Hingga*". Universitas Diponegoro.
7. Steel Market Development Institute. 2013. "*Steel Bumper for Passenger Vehicles and Light Trucks*". United States of America.
8. www.viperpartsofamerica.com/images/products/921_large_image.jpg (1 April 2015)
9. Mazumdar, Sanjay K. "*Composites Manufacturing*". CRC Press, United Kingdom.
10. Ryan S, Tamara. 2011. "*Studi Eksperimental Pengaruh Jumlah Lapisan Stainless Steel Mesh & Posisinya Terhadap Karakteristik Tarik Bending Komposit Serat Kaca Hibrida*". Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
11. En.wikipedia.org/polymer.htm (1 April 2015)
12. Callister, Jr. William.D. 2007. "*Material Sciene And Engineering An Introduction*". John Wiley & Sons Inc, United States of America.

13. P.C Pandey. "*Composite Materials*", Web Based Course. Dept. of Civil Engineering IISc Bangalore: India.
14. Trofimov, Alexander, Dr. Lev. Pleshkov and Haslen Back. 2007. "*Hollow Glass Microsphere for High Strength Composite Cores*". Alchemie Technology.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Gresik pada tanggal 6 November 1992 dengan nama **Mochammad Affandi**. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh yaitu SDN Sidokumpul 2 Gresik (1999-2005), SMPN 1 Gresik (2005-2008), SMAN 1 Gresik (2008-2011). Selepas SMA penulis melanjutkan studinya di Jurusan S1 Teknik Mesin FTI-ITS Surabaya

Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT Petrokimia Gresik bagian *maintenance* selama 1 bulan, Kangean Energy Indonesia Ltd. bagian *maintenance* selama 1 bulan dan PT Terminal Teluk Lamong bagian *facilities readiness* selama 1 bulan.

Penulis aktif di berbagai kegiatan dalam kampus. Pada saat kuliah ia diberi kepercayaan menjabat sebagai Staff Departemen Kewirausahaan BEM FTI-ITS 2012/2013 dan Kepala Departemen Kewirausahaan BEM FTI-ITS 2013/2014. Selain itu banyak pelatihan dan kegiatan yang diikutinya, baik kegiatan akademis maupun non-akademis selama menjadi mahasiswa aktif di lingkungan ITS.

Email : mohammad_affandi@yahoo.com